

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Ideový návrh samonabíjecí odstřelovačské pušky
pro bezpečnostní složky na náboj 308 WIN

Design of Selfloadig Sniper Rifle
for Security Branches for Cartridge 308 WIN

Student:	Marcel Jiřina
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Stanislav Procházka, CSc.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Marcel Jiřina**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 50 Lovecké, sportovní a obranné zbraně a střelivo
Téma: **Ideový návrh samonabíjecí odstřelovačské pušky pro bezpečnostní složky na náboj 308 WIN**
Design of Selfloadig Sniper Rifle for Security Branches for Cartridge 308 WIN

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši v oblasti zadaného segmentu trhu s odstřelovačskými puškami (OPu) pro bezpečnostní složky státu s důrazem na přehled samonabíjecích pušek.
2. Analyzujte používané konstrukční principy samonabíjecích OPu (konstrukce a uložení hlavně, uzamčení, pohon automatiky, podávání, spoušťové a bicí mechanismy aj.) a vyberte nejvhodnější konstrukční prvky pro ideový návrh samonabíjecí OPu.
3. Vypočtete potřebné vnitrobalistické veličiny pro návrh zbraně v ráži 308 WIN a navrhnete hlaveň OPu, návrh doložte detailním výkresem a kompletním pevnostním výpočtem.
4. Ideově navrhnete ostatní mechanismy zbraně (závěr, zásobník, bicí a spoušťové ústrojí, pažbu aj.). Návrh zbraně doložte výkresem sestavení v potřebných pohledech a řezech a schématy, nákresy a výpočty jednotlivých ústrojí, potřebných pro doložení návrhu.
5. Výpočet funkce samonabíjecí zbraně doložte výpočtem funkčního diagramu zbraně.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32s.

Petruželka, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 30. 6. 2009 [cit. 2009-30-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/KE%20vyuka/Jak%20ps%C3%A1t%20cerven%202009.pdf>.

Fišer, M., Procházka, S. *Projektování loveckých, sportovních a obranných zbraní*. [Skripta]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, 2007, 120 s.

Fišer, M.: *Konstrukce loveckých, sportovních a obranných zbraní*. [Skripta]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, 2006, 130 s.

Popelínský, L., Procházka, S. aj. *Automatické zbraně*. [Učebnice]. Praha: FMO, 1991, 636 s., číslo tisku RDV-51-1

Krutil, J. *Návrh adaptace Sa-58 na loveckou samonabíjecí kulovnici*. [Diplomová práce]. Brno: UO, FVT, 2004, 86 s.

Popelínský, L. *Odběr plynů v automatických zbraních*. [Skripta]. Brno: Vojenská akademie, 1993, 86 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Stanislav Procházka, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě, 21. května 2010

.....

podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků bakalářské práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě, 21. května 2010

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Marcel Jiřina

Adresa trvalého pobytu autora práce: Ruská 68, Praha 10 – Vršovice, 101 00

Poděkování

Rád bych na tímto místě poděkoval zejména vedoucímu práce doc. Ing. S. Procházkovi, CSc., za podklady k práci, tipy na řešení dílčích problémů i za jeho velmi vstřícnou pomoc při řešení práce. Dále bych také rád poděkoval mjr. Ing. L. Jedličkovi, Ph.D., za pomoc při numerickém výpočtu průběhů vnitrobalistických veličin. Mé poděkování patří určitě i Ing. K. Kánské za pomoc při finální editaci a korektuře textu.

Anotace

JIŘINA, M.: *Ideový návrh samonabíjecí odstřelovačské pušky pro bezpečnostní složky na náboj 308 WIN: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2010, 115 s. Vedoucí práce: Procházka, S.

Tato bakalářská práce v úvodu shrnuje přehled samonabíjecích odstřelovačských pušek spolu s přehledem nejpoužívanějších nábojů. Navazující část práce shrnuje používané konstrukční principy samonabíjecích odstřelovačských pušek a stanovuje požadavky pro ideový návrh samonabíjecí odstřelovací pušky. V další části práce je proveden výpočet vnitrobalistických veličin pro náboj 308 Winchester a navržena hlaveň spolu s pevnostním výpočtem. Navazující část se věnuje ideovému návrhu ostatních součástí zbraně včetně potřebných výpočtů. Závěr práce je věnován návrhu funkčního diagramu, který vychází z řešení sestavených pohybových rovnic. Součástí práce jsou i výkresy hlavně a sestavy zbraně.

Annotation

JIŘINA, M.: *Design of Selfloadig Sniper Rifle for Security Branches for Cartridge 308 WIN: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2010, 115 p. Thesis head: Procházka, S.

The work gives an overview of self-loading sniper rifles together with an overview of mostly used cartridges at the beginning. The next part of the work summarizes main construction ideas used in self-loading sniper rifles and prescribes requirements for ideological design of a self-loading sniper rifle. In the following part of the work a calculation of quantities of interior ballistics for 308 Winchester cartridge together with barrel design is accomplished. Ideological design and calculations of other parts of the rifle are described in the next part of the work. The end of the work is dedicated to functional diagram design, which is based on solving of kinetic equations. Drawings of the barrel and an overall configuration of the sniper rifle is included in the work's appendix.

Obsah bakalářské práce

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	10
1 ÚVOD	14
2 PŘEHLED SAMONABÍJECÍCH Odstřelovačských pušek a nábojů	15
2.1 PŘEHLED SAMONABÍJECÍCH Odstřelovacích pušek	15
2.2 ÚTOČNÁ PUŠKA SA VZ. 58	36
2.3 PŘEHLED NEJPOUŽÍVANĚJŠÍCH NÁBOJŮ DO SAMONABÍJECÍCH Odstřelovacích pušek	38
3 KONSTRUKČNÍ PRINCIPY SAMONABÍJECÍCH Odstřelovačských pušek	46
3.1 KONSTRUKČNÍ PRINCIPY SOUČASNÝCH SAMONABÍJECÍCH Odstřelovačských pušek	46
3.2 KONSTRUKČNÍ PRVKY PRO IDEOVÝ NÁVRH SAMONABÍJECÍ Odstřelovačské pušky	49
3.2.1 POŽADAVKY	49
3.2.2 NÁVRH KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ – ÚPRAVA ZBRANĚ	51
4 VÝPOČET VNITROBALISTICKÝCH VELIČIN A NÁVRH HLAVNĚ	54
4.1 VÝPOČET VNITROBALISTICKÝCH VELIČIN	54
4.1.1 ANALYTICKÉ ŘEŠENÍ ZÁKLADNÍ ÚLOHY VNITŘNÍ BALISTIKY	56
4.1.2 NUMERICKÉ ŘEŠENÍ ZÁKLADNÍ ÚLOHY VNITŘNÍ BALISTIKY	62
4.2 VÝPOČET KONSTRUKČNÍHO TLAKU	63
4.3 PEVNOSTNÍ VÝPOČET HLAVNĚ	65
4.3.3 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY ZVOLENÉHO HLAVŇOVÉHO MATERIÁLU	65
4.3.4 PEVNOSTNÍ VÝPOČET JEDNODUCHÉ HLAVNĚ	65
4.3.5 PEVNOSTNÍ VÝPOČET FRETOVANÉ HLAVNĚ	67
5 OSTATNÍ MECHANIZMY ZBRANĚ	72
5.1 ZÁVĚR - KONTROLA PEVNOSTI UZAMYKACÍHO UZLU	72
5.2 VÝPOČET ZÁSObNÍKU	74
5.2.1 VÝPOČET SÍLY PODÁVACÍ PRUŽINY	74
5.2.2 VÝPOČET ROZMĚRŮ PODÁVACÍ PRUŽINY	75
5.3 BICÍ MECHANIZMUS	77
5.4 SPOUŠŤOVÝ MECHANIZMUS	79
5.5 POJISTNÉ ÚSTROJÍ	80

6	VÝPOČET FUNKČNÍHO DIAGRAMU	82
6.1	POHYB NOSIČE ZÁVORNÍKU	82
6.1.1	POHYB NOSIČE ZÁVORNÍKU VZAD	82
6.1.2	POHYB NOSIČE ZÁVORNÍKU VPŘED	89
6.2	ŘEŠENÍ POHYBOVÝCH ROVNIC	93
7	ZÁVĚR	94
	LITERATURA	96
	PŘÍLOHY	98
	PŘÍLOHA A: SPECIFIKACE MAXIMÁLNÍCH ROZMĚRŮ NÁBOJE A MINIMÁLNÍCH ROZMĚRŮ NÁBOJOVÉ KOMORY DLE C.I.P PRO NÁBOJ 308 WIN. (VÝBĚR Z TABULEK TDCC)	98
	PŘÍLOHA B: PŘEHLED SAMONABÍJECÍCH Odstřelovacích pušek	99
	PŘÍLOHA C: PŘEHLED STŘELIVA DO SAMONABÍJECÍCH Odstřelovacích pušek	101
	PŘÍLOHA D: HODNOTY PRŮBĚHŮ VNITROBALISTICKÝCH VELIČIN VYPOČÍTANÝCH NUMERICKY	102
	PŘÍLOHA E: HLAVEŇ – VÝKRES	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
	PŘÍLOHA F: PUŠKA Odstřelovací – VÝKRES	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

Seznam použitých značek a symbolů

V přehledu jsou uvedena nejdůležitější použitá označení. Složitěji definovaná označení jsou vysvětlena přímo v textu práce.

Malá písmena

a	[-]	poměr vnějšího a vnitřního poloměru
$a_s, b_s, j, k_s, A_s, M_s$		pomocné konstantní parametry pro Sluchockého metodu
b_{oz}	[m]	šířka uzamykacího ozubu
c	[N/m]	tuhost pružiny (dle účelu s různým indexem)
c_0	[m ³]	objem nábojové komory
c_s	[J/kg/K]	spalné teplo
d	[m]	ráže zbraně
d'	[m]	průměr vývrtu hlavně mezi protilehlými drážkami
d_2	[m]	střední průměr
d_{21}	[m]	průměr duše
d_{22}	[m]	průměr pláště
d_{ka}	[m]	průměr kanálku pro odběr prachových plynů
d_n	[m]	vnitřní průměr dna nábojnice
$2e_1$	[m]	charakteristická (počáteční) tloušťka prachového zrna
f	[J/kg]	měrná energie prachu
f_{oo}	[-]	součinitel smykového tření, pro ocel – ocel
f_{om}	[-]	součinitel smykového tření, pro ocel – mosaz
h	[m]	pracovní zdvih podávací pružiny
h_{oz}	[m]	výška uzamykacího ozubu
i_{Kt}	[-]	parametr pro přepočet impulsu prachových plynů
k_b	[-]	koeficient bezpečnosti
k_c	[-]	přepočební konstanta
k_m	[-]	součinitel udávající míru montážní vůle
k_φ	[-]	součinitel pasivních odporů
l	[m]	dráha střely v hlavni
l'	[m]	stř. hodnota redukované délky volného objemu spal. prostoru
l_0	[m]	vztažná délka spalovacího prostoru

l_1	[m]	redukovaná délka volného objemu spalovacího prostoru pro $\psi = 0$
l_{oz}	[m]	délka uzamykacího ozubu
l_T	[m]	vzdálenost míst otáčení závory k těžišti
l_u	[m]	celková dráha střely v hlavni
l_{Δ}	[m]	redukovaná délka volného objemu spalovacího prostoru pro $\psi = 1$
l_{ψ}	[m]	redukovaná délka volného objemu spalovacího prostoru
m	[kg]	hmotnost (dle účelu s různým indexem)
m_a	[-]	aditivní konstanta zákona hoření
m_c	[kg]	hmotnost nábojů v zásobníku
m_q	[kg]	hmotnost střely
m_{ω}	[kg]	hmotnost prachové náplně
n_z	[-]	počet závitů podávací pružiny
p	[Pa]	tlak plynů, balistický tlak
p_0	[Pa]	počáteční tlak
p_{Ap}	[Pa]	autofretážní tlak
p_E	[Pa]	tlak na mezi pružného odporu
p_D	[Pa]	tlak prachových plynů působících na dno nábojnice
p_k	[Pa]	konstrukční tlak
q_2	[m]	absolutní přesah
r_1	[m]	vnitřní poloměr
r_2	[m]	vnější poloměr
s	[m]	rozteč mezi náboji
t	[s]	čas, doba děje
t_p	[s]	doba podání
Δt_z	[s]	doba kmitu závěru v zadní poloze
v	[m/s]	rychlost střely
v_{lim}	[m/s]	limitní rychlost střely
z	[-]	poměrná shořelá tloušťka prachového zrna

Velká písmena

A	[-]	poměr ploch průřezů kanálku a drážkované části vývrtu hlavně
D	[m]	ekvivalentní průměr pružiny
E	[Pa]	modul pružnosti
E	[J]	energie (dle účelu s různým indexem)

E_{iz}	[J]	iniciační energie zápalky
F	[N]	síla (dle účelu s různým indexem)
F_{pr1}	[N]	předpětí podávací pružiny
F_{pr8}	[N]	plné zatížení podávací pružiny
G	[Pa]	modul pružnosti ve smyku
G_T	[N]	tíhová síla
I_{hl}	[Pa.s]	impuls výstřelu na hlaveň
I_K	[Pa.s]	celkový impuls tlaku prachových plynů
I_z	[kg/m ²]	statický moment setrvačnosti závory kolem osy otáčení
L	[m]	délka ramene závory
M_c	[N.m]	čepové tření
Q_v	[J/kg]	výbuchové teplo prachu
S_D	[m ²]	vnitřní plocha dna nábojnice
S_h	[m ²]	plocha průřezu vývrtu hlavně
T	[K]	teplota prachových plynů
T_0	[K]	teplota ohřevu
T_p	[K]	teplota prachové náplně
T_v	[K]	výbuchová teplota prachu

Řecká abeceda

α	[m ³ /kg]	kovolum prachových plynů
α_t	[K ⁻¹]	součinitel teplotní roztažnosti
β	[s/m]	součinitel výtoku plynů
γ_2	[-]	poměrný přesah
δ	[kg/m ³]	hustota prachové masy
δ_2	[-]	montážní vůle
Δ	[kg/m ³]	hustota prachové náplně
ε	[-]	součinitel rázu (restituce)
θ	[rad]	úhel natočení závory
θ_0	[rad]	počáteční úhel natočení závory
Θ	[-]	parametr expanze ($\Theta = \kappa_c - 1$)
κ, λ, μ	[-]	geometrické charakteristiky tvaru prachového zrna
κ_c	[-]	poměr měrných tepel (adiabatický exp., Poissonova konst.)
μ_f	[-]	součinitel fiktivnosti

ν	[-]	exponent zákona hoření
ρ	[m]	poloměr stěny pro proplastizování
σ	[Pa]	normálové napětí (dle účelu s různým indexem)
σ_{dov}	[Pa]	dovolené normálové napětí
σ_k	[Pa]	napětí na mezi kluzu
τ	[Pa]	smykové napětí (dle účelu s různým indexem)
τ_{dov}	[Pa]	dovolené smykové napětí
ν	[-]	poměrná rychlost střely
φ	[-]	součinitel fiktivnosti střely
φ_z	[-]	součinitel fiktivnosti hmoty závěru
Φ	[-]	empirický koef. závisující na uspořádání plynového válce a pístu
χ	[-]	součinitel rozšíření nábojové komory
ψ	[-]	poměrné shořelé množství prachu

Indexy

0	počátek pohybu střely, začátek děje
m	okamžik dosažení maximálního tlaku prachových plynů
k	okamžik dohoření prachu
u	ústí hlavně

1 Úvod

Odstřelovací puška je v dnešní době úzce specializovaná zbraň, která slouží přesně definovanému účelu. Historicky se vyvinula z obyčejné pušky, a to díky potřebě zasahovat vzdálené cíle se značnou přesností a jistotou. Přesnost zbraně nezávisí jen na konstrukčním uspořádání a provedení, ale také na střelci a jeho schopnostech. V minulosti byly proto oceňováni „ostrostřelci“, kteří takovými schopnostmi disponovali. Kombinace kvalitních zbraní a dobře vycvičených střelců vedla ke vzniku specializovaných jednotek. Pokrok v přesnosti zbraní byl výrazně posunut díky technologii drážkované hlavně, který lze datovat do 16. století.

Odstřelovači a jejich zbraně se historicky uplatnili zejména v různých vojenských konfliktech. S rozvojem vnitřního zabezpečení státních celků a tedy rozvojem nevojenských sborů, jako je např. policie, případně další speciální jednotky, se úloha odstřelovačů z části přesunula i do oblasti boje proti kriminalitě a v posledních několika desítkách let i do oblasti boje proti terorismu. Díky různým potřebám tak vznikají i různé odstřelovací pušky.

Téma bakalářské práce je zaměřené na ideový návrh samonabíjecí odstřelovací pušky. První část práce se shrnuje přehled nejrozšířenějších samonabíjecích odstřelovacích pušek spolu s přehledem nejčastějšího střeliva, které v těchto zbraních používá. Oba přehledy nemohou být vyčerpávající, ale poskytují dosti široký přehled o stávajících samonabíjecích odstřelovacích puškách a střelivu do nich.

Navazující část práce vychází ze sestaveného přehledu samonabíjecích odstřelovacích pušek a střeliva a analyzuje a shrnuje základní a typické konstrukční principy těchto zbraní. Dostáváme tak představu o tom, jak by měla vypadat typická moderní odstřelovací puška. Na základě těchto analyzovaných vlastností a se zohledněním vlastní představy stanovujeme požadavky pro náš ideový návrh samonabíjecí odstřelovací pušky. Protože vycházíme z automatické útočné pušky vz. 58 (Sa-58), bereme v úvahu i technické možnostmi této zbraně.

V další části práce se věnujeme výpočtu vnitrobalistických veličin. Vycházíme přitom z metody prof. Sluchockého [1]. Získané průběhy vnitrobalistických veličin pak srovnáváme s numerickým řešením, které jsme měli k dispozici. Na základě průběhů tlaků v závislosti na dráze střely v hlavní navrhujeme hlavěň zbraně pro náboj 308 Win. Jedná se o výkonnější náboj než 7,62x39 mm pro Sa-58, a proto se ukázalo jako nezbytné počítat hlavěň jako fretovanou. V kapitole uvádíme všechny potřebné výpočty a provádíme kontrolu pevnosti navržené hlavně. V příloze E je pak uveden výkres celé hlavně.

Ostatní mechanizmy zbraně jsou popsány v následující kapitole. Je zde uvedena kontrola pevnosti závěrového uzlu, výpočet zásobníku, který musel být upraven pro nový náboj a jiný funkční diagram zbraně, kontrola bicího mechanismu a zmíněna je také úprava zbraně pro střelbu jednotlivými ranami. V příloze F je uveden výkres sestavy navržené samonabíjecí odstřelovací pušky

Poslední závěrečná kapitola se věnuje výpočtu funkčního diagramu zbraně. Existuje několik přístupů k jeho sestavení. Zvolili jsme přístup založený na sestavení pohybových rovnic pro každou část funkčního cyklu na základě předem sestaveného cyklogramu a znalosti funkce jednotlivých částí závěru a jejich vzájemné provázanosti.

2 Přehled samonabíjecích odstřelovačských pušek a nábojů

První samonabíjecí odstřelovací pušky vznikly už během druhé světové války, jak na straně Rudé armády, tak na straně Wehrmachtu. V 70. letech byl všeobecně rozšířený názor, že samonabíjecí odstřelovací pušky nemohou dosáhnout přesnosti zásahů opakovacích pušek s válcovými závěry. Přesto v SSSR v roce 1963 byla zavedena do výzbroje samonabíjecí puška SVD (Dragunov). Rozvoj samonabíjecích odstřelovacích pušek začal ale až od 80. let a některé státy převzaly tyto zbraně do svých ozbrojených složek. V současné době nejsou už samonabíjecí odstřelovací pušky předem odmítány, ale přesto většina specialistů dává přednost opakovacím puškám s válcovým závěrem. Kromě vlastní zbraně je třeba vzít v úvahu také příslušné střelivo. Obyčejné, běžně vyráběné náboje, jsou mnohdy nevyhovující zejména z hlediska přesnosti, která je u odstřelovacích pušek stěžejní, a proto je třeba věnovat použitému střelivu pozornost. Zbraň a střelivo do ní tak tvoří nedílný celek.

V následujících kapitolách je uveden přehled samonabíjecích odstřelovacích pušek a přehled střeliva do těchto zbraní. Ani jeden z přehledů není a ani nemůže být naprosto vyčerpávající, nicméně věřím, že jsou v něm uvedeny všechny nejznámější zbraně a střelivo. Samostatná podkapitola je věnována základnímu popisu útočné pušky (samopalu) Sa vz. 58. Z této zbraně vyjdeme při ideovém návrhu vlastní odstřelovací pušky. Využijeme jak její celkovou koncepci, tak bude naší snahou i maximálně využít stávajících prvků zbraně, případně je jen minimálně modifikovat.

2.1 Přehled samonabíjecích odstřelovacích pušek

Níže je uveden přehled nejznámějších a nejrozšířenějších samonabíjecích odstřelovacích pušek. Zbraně zde uvedené jsou řazeny dle země původu a tím i dle výrobce, který v dané zemi působí. Díky tomu jsou pohromadě zmíněny sobě podobné zbraně jednoho výrobce. Pro ideový návrh máme ráži dānu (308 Winchester), nicméně z konstrukčního hlediska je dobré zvažovat i jiné ráže než se srovnávat jen se zbraněmi stejné ráže. Přehled je poměrně obsáhlý (i když samozřejmě ne vyčerpávající), což nám dovoluje posuzovat vhodnost zamýšleného ideového řešení samonabíjecí odstřelovací pušky.

Informace pro sestavení přehledu samonabíjecích odstřelovacích pušek byly čerpány především z [8] a [4], dále pak také z [14], [9], [21], [19], [22] a [20].

Heckler & Koch G3/SG 1



Základní TTD:

Ráže:	7,62 x 51 mm (308 WIN)
Systém:	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je dynamický válečkový se zpožděným otevíráním.
Celková délka:	1025 mm
Hmotnost:	5540 g
Hlaveň:	Délka 450 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 305 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 20 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 800 m/s
Účinný dostřel:	400 m
Výrobce:	Heckler & Koch GmbH
Země původu:	Německo

Vzorem pro tuto samonabíjecí odstřelovací pušku byla útočná puška H&K G3. V podstatě se jedná o doplnění pušky zaměřovacím dalekohledem (zpravidla Schmidt & Bender), jemněji seřízeným spoušťovým mechanismem a kvalitní hlavní. Na přední straně je možné upevnit dvojnožku. Tato zbraň našla uplatnění zejména u policie.

Heckler & Koch PSG 1



Základní TTD:

Ráže:	7,62 x 51 mm (308 WIN)
Systém:	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je dynamický válečkový se zpožděným otevíráním.
Celková délka:	1208 mm
Hmotnost:	8100 g
Hlaveň:	Délka 650 mm, čtyřvrcholový pravotočivý polygon
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 5 nebo 20 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 900 m/s
Účinný dostřel:	800 m
Výrobce:	Heckler & Koch GmbH
Země původu:	Německo

Základem této samonabíjecí odstřelovací pušky byla útočná puška H&K. Zbraň ale byla postupně přepracována a má speciální přesně vyrobenou těžkou dlouhou hlaveň s polygonálním vývrtem. K míření slouží zaměřovací dalekohled 6 x 42 s osvětlením záměrné osnovy. Puška dosahuje výborné přesnosti střelby ještě na vzdálenost 600 m. Lícnice a botka pažby jsou výškově i stranově stavitelné. Příslušenstvím je dvojnožka z lehké slitiny.

Heckler & Koch MSG 90



Základní TTD:

Ráže:	7,62 x 51 mm (308 WIN)
Systém:	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je dynamický válečkový se zpožděným otevíráním.
Celková délka:	1165 mm
Hmotnost:	6400 g
Hlaveň:	Délka 600 mm, čtyřvrcholový pravotočivý polygon
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 5 nebo 20 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 850 m/s
Účinný dostřel:	800 m
Výrobce:	Heckler & Koch GmbH
Země původu:	Německo

Jedná se o robustní přesnou pušku, možnou využít jako odstřelovací pušku. Vychází z HK G3, ale některé části, zejména pouzdro závěru bylo zesíleno. Při výrobě je také věnována zvýšená pozornost kvalitě, což vede ke zvýšenému výkonu zbraně. Hlaveň je tlustostěnná a vyrábí se kováním za studena s tím, že polygonální vývrt se vyrábí souběžně s kováním. Hlaviště pažby má stavitelnou botku i lícnici. Na zbraň je možné namontovat řadu typů optických zaměřovačů.

Heckler & Koch G8



Základní TTD:

Ráže:	7,62 x 51 mm (308 WIN)
Systém:	Automatická OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je dynamický válečkový se zpožděným otevíráním.
Celková délka:	1030 mm
Hmotnost:	8150 g
Hlaveň:	Délka 450 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 305 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 20 nábojů, bubnový zásobník na 50 nábojů, pás na 250 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 835 m/s
Účinný dostřel:	400 m
Výrobce:	Heckler & Koch GmbH
Země původu:	Německo

Tato zbraň není úplně typickým příkladem specializované samonabíjecí odstřelovací pušky. Díky své automatické funkci se spíše jedná o útočnou pušku, lehký kulomet, případně samonabíjecí odstřelovací pušku. Právě přesná těžká hlaveň a možnost montáže optického zaměřovače umožňuje využít zbraň jako odstřelovací pušku.

Heckler & Koch HK 33/SG



Základní TTD:

Ráže:	5,56 x 45 mm (223 Remington)
Systém:	Automatická OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je uzamčený válečky.
Celková délka:	920 mm
Hmotnost:	3650 g
Hlaveň:	Délka 390 mm, 6 pravotočivých drážek, stoupání 178
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 25 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 920 m/s
Účinný dostřel:	400 m
Výrobce:	Heckler & Koch GmbH
Země původu:	Německo

Tato zbraň podobně jako Heckler & Koch G8 také není úplně typickým příkladem specializované samonabíjecí odstřelovací pušky. Vychází z útočné (automatické) pušky HK 33, která je odvozena od armádní pušky G3, která je přerážována na náboj 5,56 x 45 mm (223 Remington). Jako odstřelovací puška je vhodná pro kratší vzdálenosti do 400 m. Puška je kompletována výběrem kvalitních součástí z běžné výroby. Bývá vybavena standardizovaným NATO optickým zaměřovačem 4 x 28.

VSS Vintorez



Základní TTD:

Ráže:	9 x 39 mm SP-5
Systém:	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů z vývrtu hlavně
Celková délka:	894 mm
Hmotnost:	2600 g
Hlaveň:	Délka 200 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 10 nebo 20 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 290 m/s
Účinný dostřel:	400 m
Výrobce:	Institut pro výrobu přesných přístrojů
Země původu:	Rusko

Jako odstřelovací puška slouží na poměrně krátké vzdálenosti. Je vybavena integrovaným tlumičem a rychlost střely je podzvuková. Z hlediska výkonu nepatří mezi nejvýkonnější, přesto je poměrně zajímavou alternativou k jiným samonabíjecím odstřelovacím puškám.

Dragunov SVD



Základní TTD:

Ráže:	7,62 x 54R Mosin
Systém:	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů z hlavně
Celková délka:	1225 mm
Hmotnost:	4300 g
Hlaveň:	Délka 622 mm, 4 pravotočivé drážky
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 10 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 830 m/s
Účinný dostřel:	800 m
Výrobce:	Iževská zbrojovka
Země původu:	Rusko

Jedná se pravděpodobně o nejznámější ruskou odstřelovací pušku, která je vhodná do nepříznivých bojových podmínek. Do výzbroje byla zavedena v roce 1963 a nese znaky, které jsou společné zbraním série AK. Oproti dlouhému pistu jako je u AK má tato odstřelovací puška píst s krátkým zdvihem, což přispívá ke zvýšení stability zbraně při střelbě. Vyšší přesnosti je dosahováno delší hlavní a prostřednictvím infračerveného zaměřovacího přístroje PSO-1 se čtyřnásobným zvětšením. Pomocí zaměřovacího dalekohledu je možné zasahovat cíle i ve vzdálenosti 1300 m.

Galil Sniper



Základní TTD:

Ráže:	7,62 x 51 mm NATO
Systém:	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů
Celková délka:	1115 mm (napřímená pažba), 840 mm (sklopená pažba)
Hmotnost:	6400 g
Hlaveň:	Délka 508 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 305 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 20 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 815 m/s
Účinný dostřel:	300 – 500 m
Výrobce:	Izraelský vojenský průmysl (IMI)
Země původu:	Izrael

Tato odstřelovací puška navazuje na útočnou pušku Galil, která byla zavedena do izraelské armády v 70. letech a konstrukčně vycházela z AK-47. Pro standardní střelivo dosahuje max. rozptylu 12-15 cm na vzdálenost 300 m a 30 cm na vzdálenost 600 m. Zajímavostí je, že dvojnožka je uchycena na zadní části předpažbí, takže neovlivňuje kmitání hlavně (která je oproti útočné pušce zesílena). Na zbraň je možné namontovat standardní optický zaměřovač. Hlaveň je na ústí opatřena ústřovou brzdou kombinovanou s tlumičem výšlehu plamene a kompenzátozem zdvihu. Ústřová brzda se dá nahradit tlumičem hluku, který se používá ve spojení s podzvukovým střelivem.

Steyr IWS 2000 (antimateriálová puška)



Základní TTD:

Ráže:	15,2 x 169 mm Steyr
Systém:	Samonabíjecí Opu využívající energii zpětného rázu
Celková délka:	1800 mm
Hmotnost:	18 kg
Hlaveň:	Délka 1200 mm, hladký vývrt
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 5 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 1450 m/s
Účinný dostřel:	1000 m
Výrobce:	Steyr-Mannlicher GmbH
Země původu:	Rakousko

Zbraň vznikla koncem 80. let z potřeby ničit celou řadu materiálových cílů, přičemž standardní kulomety nebyly schopny tuto funkci spolehlivě splnit. Počáteční rychlost střely je vysoká a díky tomu je dráha letu střely dostatečně plochá. Zbraň se přepravuje rozložená na dvě funkční skupiny. Důležitými prvky zbraně jsou koncentricky působící brzdňý systém, který vyrovnává velmi silný brzdňý ráz zbraně, a účinná ústňová brzda, která působí proti zpětnému rázu.

Zvláštností je nábojnice vyrobená z kovu a plastu s 20g střelou šípového tvaru, která je obohacena wolframem. Na vzdálenost 1000 m je schopna prostřelit pancíř o tloušťce 40 mm. Převýšení dráhy střely přitom činí 800 mm.

Zbraň existuje v řadě variant a vývoj zbraně stále pokračuje. Zejména je snahou technické zjednodušení zbraně, snížení hmotnosti a také možnost plně automatické funkce. Uvažuje se o hlavní s drážkovaným vývrtem, která by tak umožnila rozšíření sortimentu použitelného střeliva.

SIG SSG SG 550**Základní TTD:**

Ráže:	5,56 x 45 mm NATO
Systém:	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů
Celková délka:	1130 mm (napřímená pažba), 905 mm (sklopená pažba)
Hmotnost:	7020 g
Hlaveň:	Délka 650 mm, 6 pravotočivých drážek
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 20 nebo 30 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 940 m/s
Účinný dostřel:	800 m
Výrobce:	SIG
Země původu:	Švýcarsko

Tato odstřelovací puška úzce navazuje na útočnou pušku pod označením Sturmgewehr 90 s tím, že SG 550 střílí jednotlivými ranami v samonabíjecím režimu. Další změnou je těžší a delší hlaveň na které chybí mechanická mířidla. Pažba je výškově i délkově stavitelná. Pouzdro závěru je upraveno pro montáž standardního zaměřovacího dalekohledu. Zbraň je vybavena dvojnožkou.

Zastava M76



Základní TTD:

Ráže:	7,92 mm Mauser (8 x 57 JS)
Systém:	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů
Celková délka:	1135 mm
Hmotnost:	4600 g
Hlaveň:	Délka 550 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 240 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 10 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 720 m/s
Účinný dostřel:	800 m
Výrobce:	Crvena Zastava
Země původu:	Srbsko

Tato zbraň je postavena na systému Kalašnikova. Z důvodu exportu je komorována ale pro „západní“ náboj ráže 7,92 mm Mauser, což je zastaralý, ale osvědčený a výkonný náboj. Oproti AK má těžší a delší hlaveň a používá lepší střelivo, což vede k vysoké přesnosti střelby. Systém odběru prachových plynů je převzat beze změn z AK, nicméně plynový kanálek je posunut dál od nábojové komory směrem dopředu. To má za následek dokonalé shoření prachové náplně, na druhou stranu to vede k mírnému snížení počáteční rychlosti střely. Zbraň si zachovala mechanická mířidla, ale je na ni možné namontovat zaměřovací dalekohled 4 x 24.

Gepard M2



Základní TTD:

Ráže:	12,7 x 108 mm
Systém:	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu
Celková délka:	1530 mm
Hmotnost:	12 kg
Hlaveň:	Délka 1100 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 5 nebo 10 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 840 m/s
Účinný dostřel:	2000 m
Výrobce:	Technika Budapešť
Země původu:	Maďarsko

Hlaveň u této zbraně se podobně jako u verze Gepard M1 pohybuje spolu se závěrem v pouzdru na způsob „manžety“. v níž je také uložena pružina tlumiče zpětného rázu. Celý tento systém tak funguje na principu dlouhého zákluzu (zákluz je cca 150 mm). Pohyb poměrně těžké hlavně se závěrem při výstřelu spotřebuje značnou část energie zpětného rázu a střelba je oproti Gepard M1 příjemnější. Maximální účinný dostřel je udáván 1000 m, ale ve skutečnosti je o něco větší.

Existuje i varianta této zbraně s označením M2A1, která je o něco lehčí a kratší a je určena pro výsadkové a speciální jednotky. Ústňová brzda je naopak rozměrnější, aby dostatečně dobře utlumila větší zpětný ráz.

Gepard M3



Základní TTD:

Ráže:	14,5 x 114 mm KPV
Systém:	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu a dlouhým zákluzem hlavně
Celková délka:	1880 mm
Hmotnost:	20 kg
Hlaveň:	Délka 1480 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 5 nebo 10 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 1000 m/s
Účinný dostřel:	2000 m
Výrobce:	Technika Budapešť
Země původu:	Maďarsko

V zásadě se jedná o verzi Gepard M2 upravenou pro kulometný náboj 14,5 x 114 mm. Původně byl tento náboj určen pro protitankové pušky PTRD a PTRS. Zbraň je navíc celkově zvětšená a zesílená oproti modelu M2. Zbraň má integrovaný hydraulický tlumič zpětného rázu. Ústňová brzda je značně rozměrná a tlumí nejen zpětný ráz, ale i výšleh plamene. Výkon zbraně je značný, ještě ve vzdálenosti 600 m je střela schopna probít pancíř o tloušťce 25 mm.

M21 SWS (Sniper Weapon System)



Základní TTD:

Ráže:	7,62 x 51 mm (308 WIN)
Systém:	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů
Celková délka:	1120 mm
Hmotnost:	5100 g
Hlaveň:	Délka 560 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 305 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 20 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 850 m/s
Účinný dostřel:	690 m
Výrobce:	Státní zbrojovka Springfield
Země původu:	USA

M21 SWS je odstřelovací puška postavená na základě bývalé vojenské automatické pušky M14, která sloužila v americké armádě až do konce 60. let 20. století. Důvodem přepracování pušky M14 na odstřelovačskou pušku byly dobré vlastnosti, tedy zejména přesnost, pušky M14. Přepracovány a pečlivě dolícovány byly zejména součásti na odběr tlakových plynů, vodící tyčinka vratné pružiny a tlumič výšlehu plamene. Péče byla věnována i přesnému usazení hlavně a závěrového systému. Současně byla vyřazena funkce automatické střelby. Přepracován byl spoušťový mechanismus, aby umožňoval hladké odpálení. Zbraň byla také osazena zaměřovacím dalekohledem s měnitelným zvětšením. Přesnou palbu je možné vést na vzdálenost 300 až 900 m bez změny záměrného bodu. Pro civilní trh se zbraň vyrábí pod označením M1A.

Barrett M82A1 "Light Fifty"



Základní TTD:

Ráže:	12,7 x 99 mm (50 BMG)
Systém:	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu a krátkým zákluzem hlavně
Celková délka:	1550 mm
Hmotnost:	13,4 kg
Hlaveň:	Délka 838 mm, 8 pravotočivých drážek
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 11 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 850 m/s
Účinný dostřel:	1800 m
Výrobce:	Barrett Firearms Mfg. Co.
Země původu:	USA

Zkratka BMG u ráže znamená Browning Machine Gun. Označení „Light Fifty“ (Lehká padesátka) poukazuje na ráži .50, tj. polovinu palce, a poměrně nízkou hmotnost vzhledem k typu zbraně. Při výstřelu se závěr pohybuje o cca 25 mm dozadu. Zbraň je kanelovaná a má na ústí vysoce účinnou ústňovou brzdu. Ta snižuje zpětný ráz na přijatelnou úroveň. Pouzdro závěru je v přední části perforované kvůli lepšímu odvodu tepla a na jeho spodní straně je upevněna výškově stavitelná dvojnožka. Zbraň může být umístěna na několik typů kulometných lafet. Zbraň je možné vybavit řadou zaměřovacích dalekohledů a přístrojů pro noční vidění. Navíc má puška mechanická mířidla.

Barrett M82A2



Základní TTD:

Ráže:	12,7 x 99 mm (50 BMG)
Systém:	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu a krátkým zákluzem hlavně
Celková délka:	1409 mm
Hmotnost:	12,24 kg
Hlaveň:	Délka 736 mm, 8 pravotočivých drážek
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 10 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 850 m/s
Účinný dostřel:	1800 m
Výrobce:	Barrett Firearms Mfg. Co.
Země původu:	USA

Tato zbraň je v uspořádání bull-pup, tedy nabíjení a zásobník jsou za spouští. Tímto uspořádáním se šetří místo oproti konvenčnímu uspořádání. Jak bylo naznačeno, snahou bylo zkrátit délku zbraně, současně typ náboje pevně definuje délku hlavně. Z toho důvodu je spoušťový mechanismus posunut dopředu a zásobník naopak dozadu. Přesto zadní část pouzdra přečnává dozadu a při střelbě spočívá na rameni střelce. Takovéto uspořádání chrání střelce, což bylo z hlediska zvýšených požadavků na bezpečnost střelce cílem. Zbraň nemá dvojnožku a místo ní je v přední části umístěna doplňková rukojeť. Zbraň se mimo jiné využívá při likvidaci zbloudilých granátů a min. Pro tyto účely byl vyvinut náboj s průbojně výbušnou a zápalnou střelou s označením APHEI.

Stoner SR-25



Základní TTD:

Ráže:	7,62 x 51 mm (308 WIN)
Systém:	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů
Celková délka:	1175 mm
Hmotnost:	4880 g
Hlaveň:	Délka 506 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 10 nebo 20 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 880 m/s
Účinný dostřel:	800 m
Výrobce:	Knight's Armament Co.
Země původu:	USA

Puška byla vyvinuta počátkem 90. let 20. století Eugenem Stonerem na objednávku firmy Knight's Armament Co. Zbraň se podobá pušce M16 s tím rozdílem, že je komorována pro náboj ráže 7,62 x 51 (.308 Winchester). K činnosti zbraně je využíván princip odběru prachových plynů z vývrtu hlavně a uzamčení závěru zajišťuje stejný systém s rotací závořníku jako u pušky AR-15 (M16). Zhruba 60 % dílů je zaměnitelných. Podobnost s puškou M16 je výhodou při výcviku. Puška nemá mechanická mířidla, zato je vybavena montážní lištou na kterou lze umístit zaměřovací přístroje.

Existuje i řada variant této zbraně, např. provedení Match pro sportovní střelbu nebo verze s kratší hlavní o délce 406 mm. Verze Sporter je určena pro civilní trh. Vypadá jako puška M16. Firma nabízí i verzi s integrovaným tlumičem.

Barrett M98



Základní TTD:

Ráže:	.338 Lapua Magnum
Systém:	Samonabíjecí, s odběrem prachových plynů
Celková délka:	1175 mm
Hmotnost (bez zaměřovače):	7 kg
Hlaveň:	Délka 610 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 10 nábojů
Počáteční rychlost střely:	975 m/s
Účinný dostřel:	1200 m
Výrobce:	Barrett Firearms Company
Země původu:	USA

Zbraň je určena jak pro vojenské, tak pro policejní použití. Ráže zbraně vyplňuje mezeru mezi tradičním nábojem 7,62 x 51 mm a 12,7 x 99 mm. Konstrukčně je podobná opakovací verzi této zbraně. Umístění plynové systému je odděleně od hlavně, aby se zabránilo nežádoucím vibracím hlavně. Odstřelovací puška je vybavena vysoce účinnou ústňovou brzdou.

FAMAE FD-200**Základní TTD:**

Ráže:	7,62 x 51 mm
Systém:	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů
Celková délka:	1200 mm
Hmotnost:	5100 g
Hlaveň:	Délka 620 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 5, 10 nebo 20 nábojů
Počáteční rychlost střely:	cca 800 m/s
Účinný dostřel:	800 m
Výrobce:	FAMAE
Země původu:	Chile

Tato zbraň je vyráběna od roku 2000 v Chile a vychází z licenčně vyráběné útočné pušky SIG SG 540 s tím, že byla věnována větší pozornost hlavní s cílem zvětšit její přesnost. Zbraň byla vyrobena v malém množství a není běžně dostupná mimo zemi původu.

QBU-88**Základní TTD:**

Ráže:	5,8 x 42 mm
Systém:	Samonabíjecí, s odběrem prachových plynů a otočným závěrem
Celková délka:	920 mm
Hmotnost (bez zaměřovače):	4,1 kg
Hlaveň:	Délka 640 mm
Zásobovací zařízení:	Schránkový zásobník na 10 nábojů
Počáteční rychlost střely:	895 m/s
Účinný dostřel:	800 m
Výrobce:	China North Industries Corporation
Země původu:	Čína

Nejedná se tak zcela o odstřelovací pušku, spíše jde o samonabíjecí pušku jednotlivce předpokládající mířenou střelbu na delší vzdálenosti než u útočné pušky. Puška je vybavena mechanickými mířidly a je možné na ni umístit optický zaměřovač. Puška je výzbrojí čínské armády a policie.

2.2 Útočná puška Sa vz. 58

Tato podkapitola je věnována základnímu popisu útočné pušky (samopalu) Sa vz. 58. Pojem „samopal“ se používá pro automatické zbraně na pistolový náboj, v případě Sa-58 jde o puškový náboj, a správnější název podle současné terminologie by měl být „útočná puška“. Při ideovém návrhu vlastní samonabíjecí odstřelovací pušky vyjdeme právě z této zbraně. Důvodů, proč byla vybrána za základ právě tato zbraň je několik. Hlavním a pragmatickým důvodem je, že se jedná o spolehlivou, důvěrně známou, dlouhodobě používanou (přes 40 let), dobře zdokumentovanou a široce rozšířenou československou zbraň.

Základní údaje o zbrani jsou uvedeny v přehledu níže. Téměř vyčerpávající informace lze pak nalézt v knize [4]. Existuje i řada webových stránek na Internetu, které se této zbrani věnují, např. [18].

Sa-58	
	
Základní TTD:	
Ráže:	7,62 x 39 mm (vz. 43)
Systém:	Automatická zbraň, s odběrem prachových plynů a přímoběžným závěrem s nesenou závorou
Celková délka:	845 mm (bez bodáku), 1000 mm (s bodákem)
Hmotnost (bez zaměřovače):	2,91 kg (bez bodáku a zásobníku), 3,77 kg (s bodákem a plným zásobníkem)
Hlaveň:	Délka 390 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 240 mm

Zásobovací zařízení:	<p>Schránkový zásobník na 30 nábojů, ale existují i zásobníky na 4, 5, 10, 15 nebo dokonce 40 nábojů, bubnový zásobník na 75 nábojů apod.</p> <div data-bbox="699 271 1251 573">  </div>
Počáteční rychlost střely:	702 m/s
Účinný dostřel:	600 m (pozemní cíle), 500 m (vzdušné cíle), 400 m (střelba dávkou), 800 m (skupinové cíle)
Výrobce:	Uherský Brod
Země původu:	ČSSR
<p>Největší dostřel je zbraně 2800 m. Smrtící účinek střely je po celé dráze střely.</p> <p>Počáteční energie střely je 1988 J.</p> <p>Kadence je cca 800 ran/min. Bojová rychlost střelby je cca 40 až 150 ran/min. podle velikosti dávky. Ze samopalů lze v jakýchkoliv podmínkách vystřelit nepřetržitě 270 ran.</p> <p>Pro zvýšení životnosti a odolnosti proti korozi je drážkovaný vývrt hlavně a nábojová komora chromována. Chromován je také závorník a závora.</p> <p>Samopal může být vybaven buď pevnou dřevěnou (dřevotřískovou) ramenní opěrkou (vz. 58 P) nebo sklopnou kovovou ramenní opěrkou (vz. 58 V).</p> <p>Samopal má jednoduchou obsluhu a je snadno rozebíratelný pro čištění.</p> <p>Samopal může být doplněn dvojnožkou pro střelbu s oporou.</p> <p>Existuje celá řada variant a modifikací základní zbraně. Např. Sa vz. 58 Pi, Sa vz. 58 s prodlouženou hlavní, lehká odstřelovací puška vz. 58/97, samonabíjecí karabina CZH 2003 S (Sport), verze samopalu doplněné tlumičem, granátometem apod.</p> <div data-bbox="375 1498 820 1868">  </div> <div data-bbox="868 1498 1372 1868">  </div> <div data-bbox="486 1879 710 1910" data-cs="2" data-kind="parent">Sa-58 verze Sníper</div> <div data-bbox="979 1879 1251 1910" data-cs="2" data-kind="parent">Sa-58 model Al Capone</div>	

2.3 Přehled nejpoužívanějších nábojů do samonabíjecích odstřelovacích pušek


Existuje téměř nepřeberné množství různých nábojů pro různé zbraně. Přesto řada zbraní používá poměrně malou množinu všeobecně používaných nábojů. Pokud se omezíme na náboje pro odstřelovací pušky, bude tato množina ještě o něco menší. Na druhou stranu, téměř každý náboj existuje v několika variantách. Nejčastější varianty jsou dány použitou střelou, ale lišit se mohou např. i tvarem prachových zrn a jejich hmotností. Díky tomu se mění i celá řada dalších sledovaných charakteristik jako např. ústňová (počáteční) rychlost, energie střely, rychlost střely apod., a díky těmto odlišným charakteristikám se liší i účinný dostřel, účinky střely v cíli apod.

V následujícím přehledu jsou uvedeny nejtypičtější náboje používané u odstřelovacích pušek, a to v základní resp. nejrozšířenější variantě. Ke každému náboji je uveden i stručný komentář zmiňující mimo jiné některé zajímavé varianty daného náboje.

Informace pro sestavení přehledu nejpoužívanějších nábojů do samonabíjecích odstřelovacích pušek byly čerpány především z [8] a [4], dále pak také z [14], [17] a [9]. Geometrické rozměry nábojů a jim odpovídajících nábojových komor jsou uvedeny v tabulkách TDCC, které vydává C.I.P. Tyto tabulky jsou také zapracovány do české normy ČSN 39 5020 [2].

5,56 x 45 mm NATO (.223 Remington)		
Země původu:	USA	
Celková délka:	57,3 mm	
Délka nábojnice:	44,45 mm	
Průměr dna:	9,50 mm	
Hmotnost střely:	4,0 g (62 gr)	
Ústňová rychlost:	930 m/s	
Ústňová energie:	1708 J	
Maximální tlak:	430 MPa	
Rychlost v 300 m:	650 m/s	
Energie v 300 m:	834 J	
Jedná se o jeden z rozšířenějších nábojů, a to zejména díky tomu, že je standardem NATO. Používá se i v samonabíjecích odstřelovačských puškách, jako jsou např. SIG SG 540, U.S. Marksman Rifle (její různé varianty), MSSR rifle, ale i QBU-88.		

7,62 x 67 mm (.300 Winchester Magnum)	
Země původu:	USA
Celková délka:	83,82 mm
Délka nábojnice:	66,55 mm
Průměr dna:	13,51 mm
Hmotnost střely:	9,72 g (150 gr)
Úst'ová rychlost:	987 m/s
Úst'ová energie:	4725 J
Maximální tlak:	430 MPa
Rychlost v 300 m:	693 m/s
Energie v 300 m:	2329 J



Jedná se o výkonný náboj s dosedacím nákružkem. Vznikl v roce 1963 a od té doby se rozšířil pro lovecké účely. Pro odstřelovací pušky byl využit koncem 80. let, jmenovitě byl použit pro odstřelovací pušku WA 2000. Náboj má velmi dobrou přesnost, a byl proto následně využit i v jiných odstřelovacích puškách, např. v G22.

7,62 x 51 NATO (.308 Winchester)	
Země původu:	USA
Celková délka:	69,85 mm
Délka nábojnice:	51,05 mm
Průměr dna:	11,94 mm
Hmotnost střely:	9,65 g (149 gr)
Úst'ová rychlost:	854 m/s
Úst'ová energie:	3519 J
Maximální tlak:	345 MPa
Rychlost v 300 m:	642 m/s
Energie v 300 m:	1988 J




Jedná se o velmi výkonný náboj, který vznikl v roce 1954 v USA a který nahrazoval náboj .30-06 Springfield. Stal se standardem NATO a je využíván v řadě zbraní, zejména útočných pušek. Jeho výkon je ale pro tyto zbraně mnohdy příliš velký. Naopak se dobře hodí pro odstřelovací pušky. Podrobné rozměry náboje a jemu odpovídající nábojové komory jsou uvedeny v příloze A. Hodnoty fyzikálně-chemických a balistických charakteristik střelného prachu resp. celého náboje jsou uvedeny níže v kapitole 4.1 *Výpočet vnitrobalistických veličin*.

7,62 x 54R Mosin	
Země původu:	Rusko
Celková délka:	76,70 mm
Délka nábojnice:	53,60 mm
Průměr dna:	14,30 mm
Hmotnost střely:	11,98 g (185 gr)
Úst'ová rychlost:	804 m/s
Úst'ová energie:	3814 J
Maximální tlak:	390 MPa
Rychlost v 300 m:	606 m/s
Energie v 300 m:	2167 J




Tento náboj vznikl v roce 1891 v Rusku a byl určen pro vojenskou pušku Mosin-Nagant. Dodnes slouží v různých ozbrojených složkách. Podle všeho je nejdéle sloužícím vojenským nábojem na světě. Jeho výkon je pro danou ráži stále velmi dobrý.


7,92 x 57 Mauser (8x57 JS)	
Země původu:	Německo
Celková délka:	80,60 mm
Délka nábojnice:	57,00 mm
Průměr dna:	12,00 mm
Hmotnost střely:	12,85 mm (198 gr)
Úst'ová rychlost:	737 m/s
Úst'ová energie:	3490 J
Maximální tlak:	390 MPa
Rychlost v 300 m:	554 m/s
Energie v 300 m:	1972 J




Tento náboj, který byl zaveden do výzbroje německé armády v roce 1898, patří mezi nejrozšířenější náboje. Velmi často je upravován a vznikají jeho různé modifikace. Patří mezi přesné a výkonné náboje, a proto se stále používá v některých odstřelovacích puškách.

.338 Lapua Magnum (8,7 x 69 mm)		
Země původu:	Finsko	
Celková délka:	91,50 mm	
Délka nábojnice:	69,20 mm	
Průměr dna:	14,91 mm	
Hmotnost střely:	16,20 g (250 gr)	
Úst'ová rychlost:	914 m/s	
Úst'ová energie:	6766 J	
Maximální tlak:	420 MPa	
Rychlost v 300 m:	763 m/s	
Energie v 300 m:	4710 J	
<p>Náboj byl vyvinut firmou Lapua jako vysoce výkonné a přesné střelivo pro loveckou střelbu na velké vzdálenosti. Jeho těžká střela a vysoká rychlost letu střely je příčinou vysoké dopadové energie (na vzdálenost 1830 m je cca 628 J).</p>		


9 x 39 mm VSS	
Země původu:	SSSR
Celková délka:	55,5 mm
Délka nábojnice:	38,5 mm
Průměr dna:	11,3 mm
Hmotnost střely:	16,2 g (250 gr)
Úst'ová rychlost:	290 m/s
Úst'ová energie:	681 J
Maximální tlak:	cca 355 MPa




Jedná se o nový ruský náboj, a proto je obtížné dohledat některé informace o něm. Vychází ze standardního náboje 7,62 x 39 mm (vz. 43) s nově vyvinutou střelou. Cílem bylo, aby střela měla těsně podzvukovou rychlost. Proto ji lze použít pro různé zbraně opatřené tlumičem včetně odstřelovací pušky VSS Vintorez.

12,7 x 99 mm (.50 BMG)		
Země původu:	USA	
Celková délka:	137,80 mm	
Délka nábojnice:	99,10 mm	
Průměr dna:	20,30 mm	
Hmotnost střely:	42,90 g (662 gr)	
Ústňová rychlost:	887 m/s	
Ústňová energie:	16 876 J	
Maximální tlak:	378 MPa	
Rychlost v 300 m:	665 m/s	
Energie v 300 m:	9476 J	
<p>Tento náboj byl primárně určen do velkorážových kulometů a jeho vznik se datuje do roku 1918. Vyvinula ho firma Winchester a inspirovala se přitom německým nábojem ráže 13 x 92 mm. Je velmi rozšířen v řadě zemí.</p>		


12,7 x 108 mm		
Země původu:	SSSR	
Celková délka:	147,50 mm	
Délka nábojnice:	108 mm	
Průměr dna:	21,75 mm	
Hmotnost střely:	52 g (802 gr)	
Ústňová rychlost:	860 m/s	
Ústňová energie:	19 230 J	
Maximální tlak:	360 MPa	
Rychlost v 300 m:	cca 645 m/s	
Energie v 300 m:	cca 9872 J	
<p>Náboj je určen pro těžké (velkorážové) kulomety a antimateriálové odstřelovací pušky. Můžeme ho považovat za ruský ekvivalent náboje 12,7 x 99 mm NATO (.50 BMG). Jeho možné využití je široké díky vysokým průbojným účinkům.</p>		

15,2 x 169 mm Steyr AMR		
Země původu:	Rakousko	
Celková délka:	207 mm	
Délka nábojnice:	169 mm	
Průměr dna:	26 mm	
Hmotnost střely:	35 g (540 gr)	
Úst'ová rychlost:	1450 m/s	
Úst'ová energie:	36 793 J	
Maximální tlak:	cca 360 MPa	


Jedná se o náboj, který vznikl v roce 1988 a je v současné době používán pouze v jediné zbrani, a to anitimateriálové pušce AMR od firmy Steyr-Mannlicher. Nejdůležitější částí střely je wolframový šíp stabilizovaný za letu křídélky. Na vzdálenost 800 mm je schopen probít pancíř o tloušťce 40 mm. V prostoru za cílem vytváří množství sekundárních střel s vysokým ničivým účinkem.

14,5 x 114 mm		
Země původu:	SSSR	
Celková délka:	155,80 mm	
Délka nábojnice:	114 mm	
Průměr dna:	26,95 mm	
Hmotnost střely:	60 g (930 gr)	
Ústová rychlost:	1000 m/s	
Ústová energie:	30 000 J	
Maximální tlak:	360 MPa	


Původně byl tento náboj určen do protitankových pušek. Po 2. světové válce byl využit ve velkorážovém kulometu KPV. Střela je schopna na vzdálenost 300 m probít pancíř o tloušťce 28 mm. Využití má i jako střelivo pro odstřelovací pušky.

7,62 x 39 mm		
Země původu:	SSSR	
Celková délka:	56,00 mm	
Délka nábojnice:	38,70 mm	
Průměr dna:	11,35 mm	
Hmotnost střely:	8 g (123 gr)	
Ústřová rychlost:	710 m/s	
Ústřová energie:	2010 J	
Maximální tlak:	355 MPa	


Tento náboj byl zkonstruován během 2. světové války a jeho první použití bylo v pušce SKS. Náboj má velký ranivý účinek, pokud dojde k jeho rozpadu ve tkáni. Nejznámější jeho využití v útočné pušce AK-47 a československé samočinné útočné pušce Sa vz. 58.

7,5 x 55 mm Swiss (GP 11, Schmidt Rubin)		
Země původu:	Švýcarsko	
Celková délka:	77,70 mm	
Délka nábojnice:	55,60 mm	
Průměr dna:	12,60 mm	
Hmotnost střely:	9,7 g (150 gr)	
Úst'ová rychlost:	860 m/s	
Úst'ová energie:	3604 J	
Maximální tlak:	380 MPa	
Náboj byl vyvinut pro švýcarskou armádu. Navzdory označení může používat stejnou střelu jako je u ráže 7,62.		

9,3 x 64 mm Brenneke	
Země původu:	Německo
Celková délka:	85,60 mm
Délka nábojnice:	64,00 mm
Průměr dna:	12,88 mm
Hmotnost střely:	19 g (293 gr)
Úst'ová rychlost:	785 m/s
Úst'ová energie:	5854 J
Maximální tlak:	440 MPa



Jedná se o náboj primárně určený pro lov vysoké zvěře. Bylo ho však možné bez problémů použít v pušce Mauser 98, a proto se z něho stal vojenský náboj.

5,8 x 42 mm DBP87		
Země původu:	Čína	
Celková délka:	58 mm	
Délka nábojnice:	42,2 mm	
Průměr dna:	cca 9,5 mm	
Hmotnost střely:	5g (77 gr)	
Ústřevá rychlost:	895 m/s	
Ústřevá energie:	2003 J	
Maximální tlak:	cca 400 MPa	

Jedná se čínský náboj, jehož vývoj byl dokončen v roce 1987. Je koncipován pro útočné zbraně a odstřelovací pušky s vyšším průbojným účinkem. Můžeme ho považovat za čínskou alternativu k nábojům 5,56 x 45 NATO a 5,45 x 39 mm.

3 Konstrukční principy samonabíjecích odstřelovačských pušek

3.1 Konstrukční principy současných samonabíjecích odstřelovačských pušek

Řada samonabíjecích odstřelovacích pušek vychází z útočných pušek stejného výrobce. V takovém případě je většinou ponechána celková koncepce konstrukce s tím, že je třeba zbraň upravit pro příslušný (výkonnější) náboj a zajistit dostatečnou kvalitu použitých součástí, aby střelba byla dostatečně přesná a samozřejmě uskutečnitelná a bezpečná. Při daném náboji se navrhuje hlaveň a následně další části zbraně. Často si úpravy vyžadují zesílení důležitých částí, jako je např. pouzdro zbraně nebo ústová zařízení.

Jinou cestou konstrukce (samonabíjecích) odstřelovacích pušek je využití známých a uznávaných konstrukcí jiného výrobce (např. AK-47) a ty přizpůsobit podobně, jak bylo zmíněno výše.

Důvodem pro adaptaci stávajících zbraní je kromě důvěrně známých a popsanych principů včetně zkušeností s těmito zbraněmi také jednodušší výroba (řada prvků zbraně, kterou se inspirujeme je využitelná při konstrukci odstřelovací pušky). Příkladem může být 60% konstrukční shoda mezi samonabíjecí odstřelovací puškou Stoner SR-25 a útočnou puškou M16.

Níže uvedeme přehled používaných konstrukčních řešení pro typické prvky samonabíjecích odstřelovacích pušek. Začneme charakteristikou náboje, protože ten bývá dán a z něho se odvíjí další konstrukční uspořádání zbraně, v první řadě hlavně.

Náboj

Náboje do (samonabíjecích) odstřelovacích pušek bývají výkonné, často se používají náboje do těžkých kulometů, někdy se převezme náboj pro jinou zbraň, např. protitankovou pušku.

Pro odstřelovací pušky se používají výkonnější náboje (oproti nábojům do útočných pušek), zejména náboj 7,62 x 51 mm NATO resp. ruský náboj 7,62x54R mm. Pro antimateriálové odstřelovací pušky bývá standardem náboj .50 BMG (12,7 x 99 mm) resp. ruský standard 12,7 x 108 mm. Existuje samozřejmě celá řada dalších nábojů vhodných pro samonabíjecí odstřelovací pušky. Téměř vyčerpávající přehled nejrozšířenějších nábojů byl uveden v předchozí kapitole *2.3 Přehled nepoužívanějších nábojů do samonabíjecích odstřelovacích pušek*.

Náboj 7,62 x 51 NATO (.308 Winchester) byl vybrán pro útočné pušky, ale jeho výkon je daleko vhodnější právě pro odstřelovací pušky. Pokud se při návrhu vychází právě z útočných pušek na tento náboj, je konstrukce odstřelovací pušky o to jednodušší.

Typickou konstrukcí náboje pro odstřelovací pušky je bezokrajový náboj s nábojnicí lahvovitého tvaru, s přechodovým kuželem a krčkem, středovým zápalem a střelou biogiválního tvaru.

Hlaveň

Při konstrukčním návrhu se vychází z náboje, který bude použit, a tomu se přizpůsobuje hlaveň. Protože se používají výkonné náboje, bývá hlaveň tlustší a delší. Tloušťka hlavně je důležitá nejen z pevnostního hlediska, ale mnohdy slouží také jako dostatečná ochrana proti vibracím hlavně při výstřelu. Délka bývá prodloužena v typickém rozmezí o 100 až 200 mm. Důvodem je zejména snaha o zvýšení výkonu (počáteční rychlosti resp. energie střely).

Vývrt hlavně bývá v drtivé většině drážkovaný a pravotočivý. To umožňuje použití nábojů pro útočné pušky. Počet drážek bývá typicky 4 nebo 6, výjimečně se lze setkat s 8 drážkami (Barrett M82A1 "Light Fifty"). Vyskytuje se i hlaveň hladká (Steyr IWS 2000), případně polygonální vývrt (Heckler & Koch PSG 1 resp. MSG 90).

Hlavňová ústrojí

Typickým hlavňovým ústrojím (samonabíjecích) odstřelovacích pušek bývá ústřevná brzda, která je zde vzhledem ke značnému výkonu, a tedy zpětnému rázu, často nezbytná. Ta bývá spojena s kompenzátorem zdvihu, případně tlumičem plamene. Cílem kompenzátoru zdvihu je omezit zdvih hlavně po výstřelu a snížit tak možné nepřesnosti při opakované střelbě. Tlumič plamene má za úkol zabránit viditelnému zášlehu plamene z hlavně, zejména z důvodu odhalení střelce.

Výše vyjmenovaná hlavňová ústrojí lze nalézt na většině samonabíjecích odstřelovacích pušek. Význam těchto ústřevných zařízení roste s výkonem (ráží) zbraně. U antimateriálových odstřelovacích pušek jsou téměř nezbytností. Výjimkou je v tomto ohledu např. SIG SSG SG 550 nebo Heckler & Koch PSG 1.

Některé zbraně umožňují montáž tlumiče hluku, případně mají tlumič hluku přímo integrován v hlavni, např. VSS Vintorez.

Závěr zbraně

Většina samonabíjecích odstřelovacích pušek používá otočný závěr. Ten má tu výhodu, že uzamykací plochy jsou blízko čela dna hlavně. Díky této krátké vzdálenosti výrazně nepruží při výstřelu a symetricky namáhají závěr. Takovéto uzavření a uzamčení je konstrukčně jednoduché, spolehlivé a dostatečně vyzkoušené.

Můžeme se setkat ale i se zbraněmi s krátkým resp. dlouhým zákluzem zbraně. Příkladem samonabíjecí odstřelovací pušky s krátkým zákluzem hlavně je Barrett M82A1 "Light Fifty" a příkladem zbraně s dlouhým zákluzem hlavně je Gepard M3.

Pohon automatiky

U samonabíjecích odstřelovacích pušek se přebírají stejné pohony jako u automatických útočných pušek. Typickým pohonem je pohon automatiky s odběrem prachových plynů z vývrtu hlavně. Dá se říct, že tento způsob pohonu automatiky převládá. Dalším rozšířeným způsobem pohonu automatiky je využití energie zpětného rázu, tj. dynamického (bržděného) závěru.

Pouzdro zbraně

Pouzdro zbraně se nijak významně neliší u odstřelovacích pušek a útočných pušek. Bývá však v řadě případů zesíleno. Přesnost výroby pouzdra (a dalších funkčních částí zbraně) bývá zvětšena použitou technologií nebo kontrolovaným výběrem ze sériové výroby.

Zásobovací ústrojí

Zásobovacím ústrojím samonabíjecích odstřelovacích pušek je v drtivé většině vyjímatelný zásobník zasouvaný do zbraně zespodu s kapacitou 10 případně 5, výjimečně 20 nábojů. Existují i bubnové zásobníky, případně je zásobování realizováno nabíjecím pásem (Heckler & Koch G8). Tvar zásobníku je buď rovný nebo segmentový.

Pažba

Na pažbu odstřelovacích pušek jsou kladeny zvýšené nároky protože pohodlí s jakým může střelec zamířit je důležité a výrazně ovlivňuje chybu zamíření a tedy přesnost střelby, která je u těchto zbraní vyžadována. Z toho důvodu je pažba anatomicky tvarována, má stavitelné prvky, zejména hlaviště pažby má výškově, stranově, případně podélně stavitelnou lícnici a botku pažby.

Pažby bývají vyrobeny z kovu, plastu nebo dřeva a často bývají odlehčeny. Řada samonabíjecích odstřelovacích pušek má pažbu sklopnou do strany. Předpokládá se i uložení zbraně v bedně nebo kufru a toho důvodu bývá pažba demontovatelná.

Zaměřovací přístroje

Mechanická mířidla se běžně vyskytují u útočných pušek. U odstřelovacích pušek jejich význam vzhledem k možné dosažené přesnosti klesá. Přesto se i na těchto zbraních často objevují. Důvod je spíše historický, mnohdy jde o adaptace útočných pušek, které je mají. Jindy se nepředpokládá vedení střelby na větší vzdálenosti, případně se ponechávají jako nezbytný základ zbraně.

Odstřelovací pušky jsou uzpůsobeny tak, aby byla možná montáž optického zaměřovacího zařízení, nejčastěji dalekohledu (typické zvětšení je 4 nebo 6), ale i nočního pozorovacího přístroje, termovizní nebo obyčejné kamery. Pro tyto účely jsou zbraně vybaveny příslušnými a mnohdy normalizovanými úchyty (lištami). Příkladem standardizace úchytů pro země NATO je norma STANAG 2324.

Příslušenství

Příslušenstvím zbraně je typicky dvojnožka, která se montuje na přední část předpažbí, výjimečně na úchyt ústředního zařízení. Další příslušenství se nijak výrazně neodlišuje od příslušenství útočných pušek. Zbraň bývá dodávána s řemenem, pouzdem na zbraň, montážními a seřizovacími klíči, krytkou ústí příp. optického zaměřovače, náhradními zásobníky, soupravou pro čištění apod.

3.2 Konstrukční prvky pro ideový návrh samonabíjecí odstřelovačské pušky

Tato kapitola se dělí na dvě podkapitoly. První z nich shrnuje požadavky, které bychom po odstřelovací pušce chtěli. Opíráme se přitom o řešerši samonabíjecích odstřelovacích pušek, která byla uvedena v předchozí kapitole 2.1 *Přehled samonabíjecích odstřelovacích pušek*, a samozřejmě i o naši představu o tom, jak by taková zbraň měla vypadat. Druhá podkapitola pak přehledově uvádí požadavky na konstrukční návrh nebo úpravu jednotlivých částí Sa-58. Konkrétní řešení jednotlivých částí je pak náplní dalších kapitol této práce.

3.2.1 Požadavky

Při specifikaci konstrukčních prvků budeme vycházet z následujících požadavků, které chceme od samonabíjecí odstřelovací pušky. Vycházíme přitom z analýzy jiných samonabíjecích odstřelovacích pušek se zohledněním naší představy o požadavcích na zbraň:

Ráže

- Odstřelovací puška musí být konstruována pro náboj 308 WIN (7,62 x 51 NATO) s minimální počáteční rychlostí 780 m/s a počáteční energií minimálně 3000 J za normálních podmínek.

Hlaveň

- Ústí hlavně musí umožňovat montáž úst'ové brzdy, tlumiče zpětného rázu, tlumiče plamene a chrániče ústí, případně dalších hlavňových ústrojí.

Rychlost střelby

- Bojová rychlost střelby musí být minimálně 10 mířených ran/min.
- Přebíjení (výměna prázdného zásobníku za plný) nesmí být delší než 3 sekundy.
- Zbraň musí být samonabíjecí.

Přesnost střelby

- Bojová přesnost střelby je požadována 0,1 - 0,5 mrad (0,25-1,5 MOA) při střelbě vleže s oporou.
- Přesnost střelby se nesmí statisticky významně změnit ani po vystřelení 30 nábojů ze zbraně bez čištění.

Účinný dostřel

- Účinný dostřel musí být minimálně 800 m.

Zaměřovače

- Zbraň nemusí být vybavena mechanickými mířidly.
- Zbraň musí umožňovat montáž standardních optických zaměřovačů dle NATO STANAG 2324.
- Zbraň musí umožňovat montáž nočních zaměřovačů používaných vojsky NATO.
- Zbraň musí umožňovat montáž termovizních zaměřovačů používaných vojsky NATO.

Manévrovací schopnost

- Zbraň musí pevně a přirozeně sednout do rukou střelce ať už při střelbě v leže, sedě nebo ve stoje.
- Pažba zbraně musí umožňovat individuální nastavení pažby dle potřeb střelce, zejména polohování lícnice a botky hlaviště pažby.
- Zbraň musí mít minimální zpětný ráz do ramene střelce a minimální zdvih hlavně při výstřelu.

Hmotnost

- Celková hmotnost zbraně (s plným zásobníkem, bez zaměřovačů a dvojnožky) nesmí překročit 5,5 kg.

Zásobník

- Kapacita zásobníku musí být 10 nábojů.
- Tvar zásobníku musí být dvouřadý a segmentový.

Vzhled

- Zbraň nesmí být tvarově členitá, nesmí obsahovat části, které by způsobily zachycení oděvu nebo prostředků maskování (maskovací sítě, traviny apod.).
- Zbraň musí mít moderní vzhled.

Materiál a povrchová úprava

- Všechny části zbraně musí být vyrobeny z materiálů, které odolávají korozi vlivem okolního prostředí i vlivu zplodin vzniklých při výstřelu, a to po celou dobu životnosti zbraně.

Bezpečnost

- Vnější pojistné ústrojí musí mít manuální pojistku umožňující zajištění napnutého bicího kohoutu, která zabrání výstřelu při napnutém spoušťovém mechanismu.

Provoz, údržba a opravy

- Zbraň musí bezproblémově fungovat v rozsahu teplot od -50°C do +50°C.
- Zbraň musí bezproblémově nepřetržitě fungovat při zachování plánované provozní údržby.
- Zbraň musí odolávat rázům a vibracím po celou dobu životnosti.
- Zbraň nesmí mít výrazné demaskující prvky.

3.2.2 Návrh konstrukčních prvků – úprava zbraně

Při ideovém návrhu odstřelovací pušky vycházíme z útočné pušky Sa-58, kterou modifikujeme tak, aby vyhovovala výše vyjmenovaným požadavkům. Na základě těchto požadavků provedeme následující úpravy a změny níže uvedených konstrukčních prvků zbraně. Do jisté míry musíme brát v úvahu technická omezení i typické uspořádání Sa-58, ze kterého vycházíme.

Ráže

Ráže je určena nábojem, kterým je náboj 308 Winchester (7,62 x 51 NATO). V příloze A jsou uvedeny minimální rozměry nábojové komory a maximální rozměry náboje tak, jak je specifikuje Stálá mezinárodní komise C.I.P. resp. česká norma ČSN 39 5020 [2]. Specifikace náboje je uvedena výše v kapitole 2.3 *Přehled nepoužívanějších nábojů do samonabíjecích odstřelovacích pušek*. Hodnoty fyzikálně-chemických a balistických charakteristik použitého střelného prachu resp. náboje jsou uvedeny níže v kapitole 4.1 *Výpočet vnitrobalistických veličin*.

Hlaveň

- Hlaveň volíme vzhledem k použitému náboji, a to drážkovanou se čtyřmi pravotočivými drážkami (stejná jako u Sa-58).
- Stoupání drážek volíme 305 mm dle tabulek TDCC. U Sa-58, který používá náboj 7,62x39 mm je stoupání drážek 240 mm. Pokud bychom toto stoupání ponechali, dosáhneme vyšší rotace střely a vyššího průbojného účinku v prostoru cíle.
- Technologii výroby hlavně volíme rotačním kováním na trnu. Jedná se o moderní technologii, která má oproti třískovému obrábění výhodu v tom, že neporušuje

konzistenci materiálu, materiál zhutňuje a je méně odpadu z výroby. Díky kované hlavní budou mít drážky vývrtu větší sklon, viz výkres hlavně v příloze E.

- Délku hlavně volíme 600 mm. Jedná se o typickou délku hlavní odstřelovačských pušek. Delší hlaveň umožní dosáhnout vyšší ústňové rychlosti. Volíme také o něco tlustší hlaveň než u původní pušky Sa-58 kvůli snížení vibrací. Současně je tloušťka hlavně omezena kvůli zachování průměru v místě odběrného kanálku.
- Ústí hlavně bude opatřeno závitem pro možnou montáž hlavňových ústrojí, zejména ústňové brzdy, kompenzátoru zdvihu a tlumiče plamene.

Závěr

- Pohon automatiky ponecháváme stejný jako u Sa-58, tj. pomocí impulzu prachových plynů odebíraných z vývrtu hlavně.
- Spojení hlavně s pouzdem zbraně je pevné. Hlaveň budeme konstruovat jako složenu (fretovanou) a v tom případě hlaveň bude mít funkci duše a pouzdro zbraně využijeme jako plášť. Hlaveň bude do pouzdra zbraně zalisována s přesahem, aby se vytvořilo požadované předpětí.
- Závěr ponecháváme přímoběžný s nesenou závorou. Kvůli delšímu náboji je třeba prodloužit pouzdro a s tím souvisí i prodloužení závorníku, nosiče závorníku a zápalníku. Úderník i závoru ponecháme původní. Zvýšení hmotnosti pohyblivých částí závěru vede sice k vyšším požadavkům na výkon náboje, ale právě u náboje 308 Win. je výkon větší než u náboje 7,62x39 mm pro Sa-58. Pro ověření správnosti naší úvahy sestojíme funkční diagram. Úderník ponecháváme původní, což má opět výhodu v tom, že se nepohybuje při uvolnění spoušťového mechanismu velká hmota, která by mohla ovlivnit přesnost střelby. Díky prodloužení závorníku jsme nuceni o něco prodloužit zápalník, ale jedná se malou součást o nízké hmotnosti, která se téměř nepohybuje. Prodloužením zápalníku navíc podporujeme jeho pružení, což je vítaná vlastnost, protože se tím snižuje namáhání součásti [6], str. 97.
- Zbraň bude vybavena pojistným ústrojím.

Pouzdro zbraně

- Pouzdro zbraně bude spojovat hlaveň, zásobník a pažbu v jeden pevný celek.
- Pouzdro zbraně bude obsahovat závěr, spoušťové, bicí a pojistné ústrojí. U spoušťového a pojistného ústrojí bude zapotřebí zohlednit požadavek, aby zbraň byla samonabíjecí, ale ne automatická, tj. aby nestřílela dávkou.
- Na pouzdře zbraně bude upevněna lišta Picatinny rail (NATO STANAG 2324) pro uchycení optických zaměřovačů, prostředků nočního vidění, termovizní kamery apod. Lištu bude třeba umístit dostatečně vysoko nad nosič závorníku, aby byl dostatečný prostor pro výhoz nábojnice z nábojiště.

Zásobovací ústrojí

- Zásobovacím ústrojím bude vyjímatelný zásobník zasouvaný do zbraně zesponu s kapacitou 10 nábojů, dvouřadý a segmentový. Přidržíme se stávajícího zásobníku pro Sa-58, který ale zkrátíme na zmíněných 10 nábojů a prosloužíme ve směru uložení nábojů, protože náboje 308 Win. jsou o cca 15 mm delší než původní náboje 7,62x39 mm. Záchyt zásobníku v pouzdra zbraně ponecháme původní. Podávací pružinu navrhne novou, protože musí splňovat odlišné požadavky, zejména jiný počet nábojů, jejich jinou hmotnost, ale i dobu kmitu závěru zbraně v zadní poloze z čehož plyne požadavek na včasné podání náboje do nábojiště.

Pažba

- Pažba bude umožňovat individuální nastavení pažby dle potřeb střelce, zejména polohování lícnice a botky hlaviště pažby. Současně zohledníme moderní tvar pažby i její uchycení k pouzdra zbraně.
- V přední části pouzdra zbraně umístíme sklopnou opěrku pro střelbu s oporou. U odstřelovacích pušek je tato úprava nezbytná.

4 Výpočet vnitrobalistických veličin a návrh hlavně

4.1 Výpočet vnitrobalistických veličin

Výpočet vnitrobalistických veličin, zejména pak tlaku a rychlosti v závislosti na dráze střely v hlavní příp. přímo na délce hlavně, je důležitým prvním krokem při návrhu hlavně. Z průběhu tlaku určujeme profil (tloušťku) hlavně, resp. daný profil hlavně kontrolujeme na pevnost. Průběh rychlosti může posloužit pro stanovení optimální délky hlavně a tedy pro dosažení požadované ústové (počáteční) rychlosti.

Při výpočtu vnitrobalistických veličin (tlaku p rychlosti střely v , dráhy střely l a teploty T) v závislosti na vhodné nezávislé proměnné (nejčastěji čase t , případně dráze střely l) vycházíme ze základního systému rovnic [1]. Jedná se o soustavu tří diferenciálních a čtyř algebraických rovnic o osmi proměnných (ψ , z , p , v , l , l_ψ , T a t). Tato soustava je uzavřená a má jediné řešení.

$$\psi = \kappa \cdot z + \kappa \cdot \lambda \cdot z^2 + \kappa \cdot \mu \cdot z^3$$

$$p = \frac{m_\omega \cdot \psi \cdot f - \frac{\Theta \cdot \varphi \cdot m_q \cdot v^2}{2}}{S_h \cdot (l_\psi + l)}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{S_h \cdot p}{\varphi \cdot m_q}$$

$$\frac{dl}{dt} = v$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{p}{I_K}$$

$$l_\psi = l_0 \cdot \left[1 - \frac{\Delta}{\delta} - \Delta \cdot \psi \cdot \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right) \right]$$

$$T = T_v \cdot \left[1 - \frac{1}{\psi} \cdot \frac{v^2}{v_{\text{lim}}^2} \right]$$

Soustava rovnic se řeší pomocí analytických, numerických, případně empirických (tabulkových) metod. Exaktní analytické řešení není možné, a proto se vychází ze zjednodušujících předpokladů. Příkladem analytické metody je Sluchockého metoda [1]. Při numerickém řešení se používají metody přímé aproximace integrálu (nejčastěji RK4) nebo metody postupné aproximace (AB, AM) [12]. Z tabulkových metod se v dnešní době nepoužívá žádná, známá Heydenreichova metoda může posloužit jen pro první odhad průběhů řešení [1], str. 73.

Abychom byli schopni soustavu rovnic spočítat, potřebujeme znát hodnoty fyzikálně-chemických a balistických charakteristik použitého střelného prachu resp. náboje a parametry uvažované zbraně, které se v rovnicích objevují. Pro náboj .308 Winchester a uvažovanou zbraň jsou hodnoty těchto parametrů následující:

Parametry zbraně:

Ráže zbraně d	$7,62 \cdot 10^{-3}$	[m]
Objem nábojové komory c_0	$3,22 \cdot 10^{-6}$	[m ³]
Dráha střely l_u	0,7	[m]
Plocha průřezu vývrtu hlavně S_h	$4,7510 \cdot 10^{-5}$	[m ²]
Součinitel pasivních odporů k_ϕ	1,1	[-]
Součinitel rozšíření nábojové komory χ	1,815	[-]

Parametry náboje:

Hmotnost prachové náplně m_w	$2,86 \cdot 10^{-3}$	[kg]
Hmotnost střely (BTHP ¹) m_q	$1,09 \cdot 10^{-2}$	[kg],
Měrná energie prachu f	$7,7 \cdot 10^5$	[J/kg]
Kovolum prachových plynů α	$9,06 \cdot 10^{-4}$	[m ³ /kg]
Hustota prachové masy δ	$1,627 \cdot 10^3$	[kg/m ³]
Celkový impuls prachových plynů I_K	$1,652 \cdot 10^5$	[Pa.s]
Poměr měrných tepel kappa κ_c	1,25	[-]
Výbuchová teplota T_v	$3,175 \cdot 10^3$	[K]
Charakteristická tloušťka zrna $2e_1$	$4 \cdot 10^{-4}$	[-]
Součinitel tvaru zrna κ	1,092	[-]
Součinitel tvaru zrna $\kappa\lambda$	-0,092	[-]
Součinitel tvaru zrna $\kappa\mu$	0	[-]

Ostatní parametry:

Počáteční tlak p_0	$4 \cdot 10^7$	[Pa]
Aditivní konst. lineárního zákona hoření m_a	0	[-]
Exponent lineárního zákona hoření ν	1	[-]
Teplota prachové náplně T_p	15 (+50, -50)	[°C]

¹ Boat Tail Hollow Point = expanzivní nekrytá biogivální střela

Řešením výše uvedeného systému rovnic vnitřní balistiky s uvedenými parametry získáme příslušné průběhy tlaku, rychlosti, dráhy a teploty. V našem případě jsme pro vyřešení uvedené soustavy rovnic použili jak analytickou metodu prof. Sluchockého, tak počítačový program pro numerický výpočet základní úlohy vnitřní balistiky. Řešení základní úlohy vnitřní balistiky nám následně poslouží jako základ pro návrh hlavně. Z toho důvodu jsou pro nás cenné zejména průběhy závislosti tlaku a rychlosti na dráze střely v hlavni. Pro úplnost jsme vypočítali i závislosti teploty a času na dráze resp. teploty na čase.

4.1.1 Analytické řešení základní úlohy vnitřní balistiky

Podstatou analytického řešení je převedení tří diferenciálních rovnic, které jsou součástí základního systému rovnic, na rovnice algebraické. Tím získáme explicitní vyjádření průběhů vnitrobalistických veličin na hodnotách vstupních parametrů. Analytické řešení se stejně jako numerické rozpadá na 3 periody (neuvažujeme poslední 4. periodu dodatečného účinku prachových plynů).

Níže popíšeme jednotlivé kroky pro řešení základní úlohy vnitřní balistiky metodou prof. Sluchockého. Podrobné odvození lze najít např. v [1], kap. 2.7.2 a 2.7.3, str. 64-72, nebo v [10], kap. 2.3.2 a 2.3.3, str. 80-96. Tento postup platí pro teplotu prachových plynů $T_v = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro jiné teploty, tj. $T_v = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $T_v = +50\text{ }^{\circ}\text{C}$, je třeba přepočítat vybrané parametry a celý postup výpočtu zopakovat. Z toho důvodu ukážeme základní výpočet pro $T_v = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a dále uvedeme postup přepočtu vybraných parametrů pro jiné teploty.

Řešením první periody jsou jen konstantní počáteční podmínky pro druhou periodu. Jejím řešením nezískáme časové průběhy veličin. Ty ale ani nepotřebujeme vzhledem k úloze návrhu hlavně. Řešení druhé periody umožní získat explicitní průběhy vnitrobalistických veličin na poměrně shořelé tloušťce zrna. Následně můžeme tyto závislosti převést snadno na závislosti na dráze příp. na čase. Řešení třetí periody spočívá v nalezení explicitních průběhů vnitrobalistických veličin v závislosti na dráze střely v hlavni. Opět můžeme tyto závislosti snadno převést na závislosti na čase.

Analytické řešení 1. periody

1. perioda je období od okamžiku iniciace zápalky a zážehu výmetné náplně do počátku pohybu střely (hoření prachové náplně v konstantním objemu – pyrostatika). Analytické řešení této periody spočívá v nalezení hodnot ψ_0 a z_0 na konci periody, tj. pro okamžik dosažení uvažovaného počátečního tlaku p_0 . Hodnoty ψ_0 , z_0 a p_0 budou počátečními hodnotami pro řešení 2. periody. Výpočty provedeme podle následujících vztahů:

$$\psi_0 = \frac{\frac{c_0}{m_\omega} - \frac{1}{\delta}}{\frac{f}{p_0} + \alpha + \frac{1}{\delta}},$$

$$z_0 = \frac{-\kappa + \sqrt{\kappa^2 + 4 \cdot \kappa \cdot \lambda \cdot \psi_0}}{2 \cdot \kappa \cdot \lambda}$$

Analytické řešení 2. periody

2. perioda je období od počátku pohybu střely do okamžiku dohoření prachové náplně (hoření prachové náplně v proměnném objemu – pyrodynamika). Nejprve vypočítáme ze známých zadaných hodnot parametrů zbraně a náboje pomocné parametry podle níže uvedených vztahů a následně je využijeme pro vlastní výpočet průběhu vnitrobalistických veličin.

$$\text{Limitní rychlost střely } v_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot m_{\omega}}{\Theta \cdot \varphi \cdot m_q}}.$$

Redukovaná délka volného objemu spalovacího prostoru (l_{Δ} a l_1 jsou krajní hodnoty l_{ψ})

$$l_{\psi} \approx l' = \frac{l_{\Delta} + l_1}{2} = \frac{1}{2 \cdot S_h} \cdot \left[2 \cdot c_0 - m_{\omega} \cdot \left(\alpha + \frac{1}{\delta} \right) \right].$$

$$v_k = \frac{S_h \cdot I_k}{\varphi \cdot m_q} \cdot (1 - z_0)$$

$$k_s = \frac{j}{a_s \cdot b_s}$$

$$j = \varphi \cdot m_q \cdot v_k^2$$

$$A_s = \frac{f \cdot m_{\omega} \cdot \kappa}{S_h \cdot l'} \cdot (1 + b_s \cdot z_0)^k$$

$$a_s = f \cdot m_{\omega} \cdot \kappa$$

$$M_s = 1 - k_s$$

$$b_s = \lambda - \frac{\Theta}{2} \cdot \frac{j}{a_s}$$

Průběhy vnitrobalistických veličin v 2. periodě získáme jako funkce poměrné shořelé tloušťce zrna $z \in \langle z_0, z_m, 1 \rangle$. Volbou hodnot z z tohoto intervalu vypočítáme konkrétní hodnoty vnitrobalistických veličin dle vztahů

$$v(z) = v_k \cdot z,$$

$$l(z) = l' \cdot \left[\left(\frac{1 + b_s \cdot z}{1 + b_s \cdot z_0} \right)^{k_s} - 1 \right],$$

$$p(z) = A \cdot z \cdot (1 + b_s \cdot z)^{1-k_s},$$

$$T(z) = T_v \cdot \left[1 - \frac{1}{\psi} \cdot \left(\frac{v}{v_{\text{lim}}} \right)^2 \right] = T_v \cdot \left[1 - \frac{1}{\kappa \cdot z + \kappa \cdot \lambda \cdot z^2 + \kappa \cdot \mu \cdot z^3} \cdot \left(\frac{v}{v_{\text{lim}}} \right)^2 \right].$$

Průběh času $t(z)$ získáme ze vztahu

$$t(z) = \frac{I_K}{A} \cdot [T(b_s \cdot z, M_s) - T(b_s \cdot z_0, M_s)],$$

kde $T(b_s \cdot z, M_s)$ je pomocná funkce, která bývá tabelována, viz např. [1], Příloha 2, str. 106-107, nebo [10], Tabulka 9, str. 88-89. Potřebné hodnoty lze pak získat vhodnou interpolací, např. bilineární nebo bikubickou. V našich výpočtech jsme ale vyšli přímo z definičního vztahu [10], str. 87,

$$T(b_s \cdot z, M_s) = \int_{-5 \cdot 10^{-6}}^{b_s \cdot z} \frac{dz}{z \cdot (1+z)^{M_s}},$$

který jsme řešili numericky (pokud by parametr M_s byl přirozené číslo, dal by se uvedený integrál řešit analyticky, ale tím, že se jedná o obecně reálnou hodnotu, řešili jsme integrál numericky).

Během 2. periody dosahuje tlak maximální hodnoty p_m . Tu můžeme snadno dohledat poté, co spočítáme celý průběh tlaku nebo ji lze určit přímo výpočtem tak, že do výše uvedeného vztahu pro tlak dosadíme za z hodnotu

$$z_m = -\frac{1}{b_s \cdot (2 - k_s)}.$$

Získané závislosti vnitrobalistických veličin jsou funkcemi poměrné shořelé tloušťky zrna z , které transformujeme na závislosti na dráze (v tomto tvaru jsou potřebné pro následný návrh hlavně), případně na čase.

Analytické řešení 3. periody

3. perioda je období od dohoření prachové náplně do okamžiku, kdy dno střely opustí ústí hlavně (perioda expanze prachových plynů). Průběhy vnitrobalistických veličin ve 3. periodě získáme jako funkce dráhy střely v hlavní $z \in \langle l_k, l_u \rangle$. Volbou hodnot l z tohoto intervalu vypočítáme konkrétní hodnoty vnitrobalistických veličin dle vztahů

$$v(l) = v_{\lim} \cdot \sqrt{1 - \left[1 - \left(\frac{v_k}{v_{\lim}} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{l_1 + l_k}{l_1 + l} \right)^\Theta},$$

$$p(l) = p_k \cdot \left(\frac{l_1 + l_k}{l_1 + l} \right)^{1+\Theta},$$

$$T(l) = T_v \cdot \left[1 - \left(\frac{v}{v_{\text{lim}}} \right)^2 \right].$$

Průběh času $t(z)$ získáme ze vztahu

$$t(l) = t_k + \frac{2 \cdot M_{sk}}{\Theta \cdot v_{\text{lim}}} \cdot [\Theta(v) - \Theta(v_k)],$$

kde $v = \frac{v}{v_{\text{lim}}}$, $v_k = \frac{v_k}{v_{\text{lim}}}$ a $M_{sk} = (l_1 + l_k) \cdot (1 - v_k^2)^{\frac{1}{\Theta}}$. Z uvedeného vztahu je vidět, že čas je

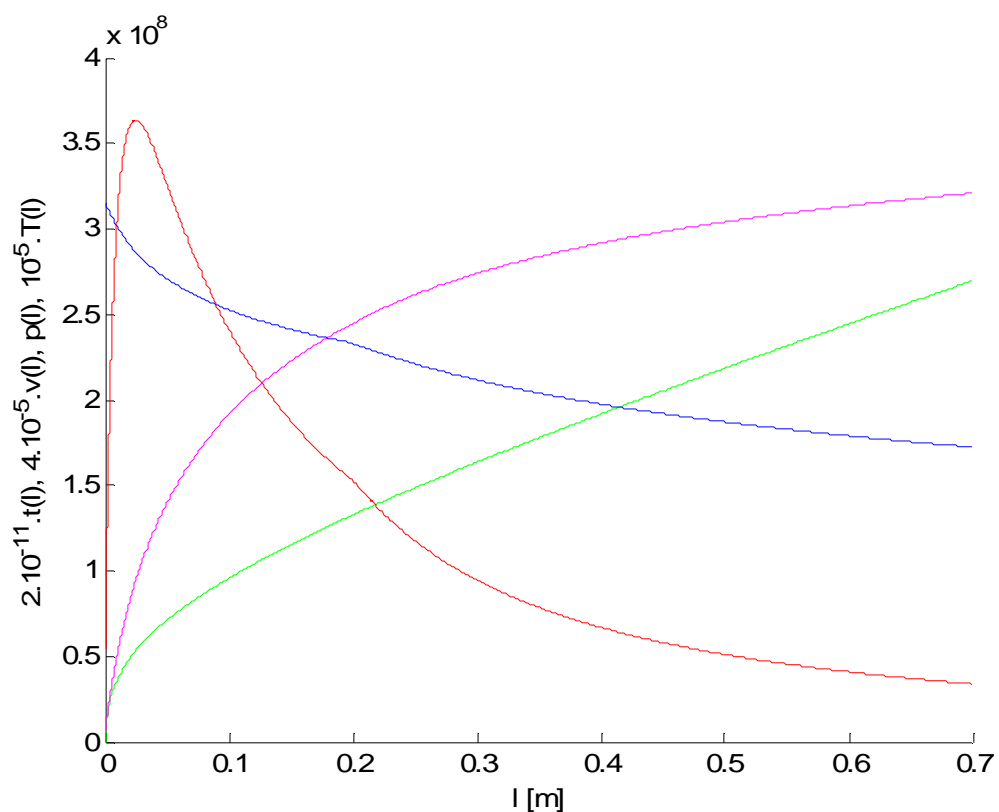
funkcí rychlosti střely v , ale ta je podle již uvedeného vztahu pro rychlost funkcí dráhy střely v hlavní l , takže i čas je funkcí dráhy l . Hodnoty pomocné funkce $\Theta(v)$ bývají tabelovány, viz např. [1], Příloha 3, str. 108-109, nebo [10], Tabulka 8, str. 76. Hodnoty funkce pro konkrétní v lze získat vhodnou interpolací, např. bilineární nebo bikubickou. V našich výpočtech jsme ale vyšli přímo z definičního vztahu [10], str. 76,

$$\Theta(v) = \int_0^v (1 - v^2)^{\frac{1}{\Theta} - 1} dv,$$

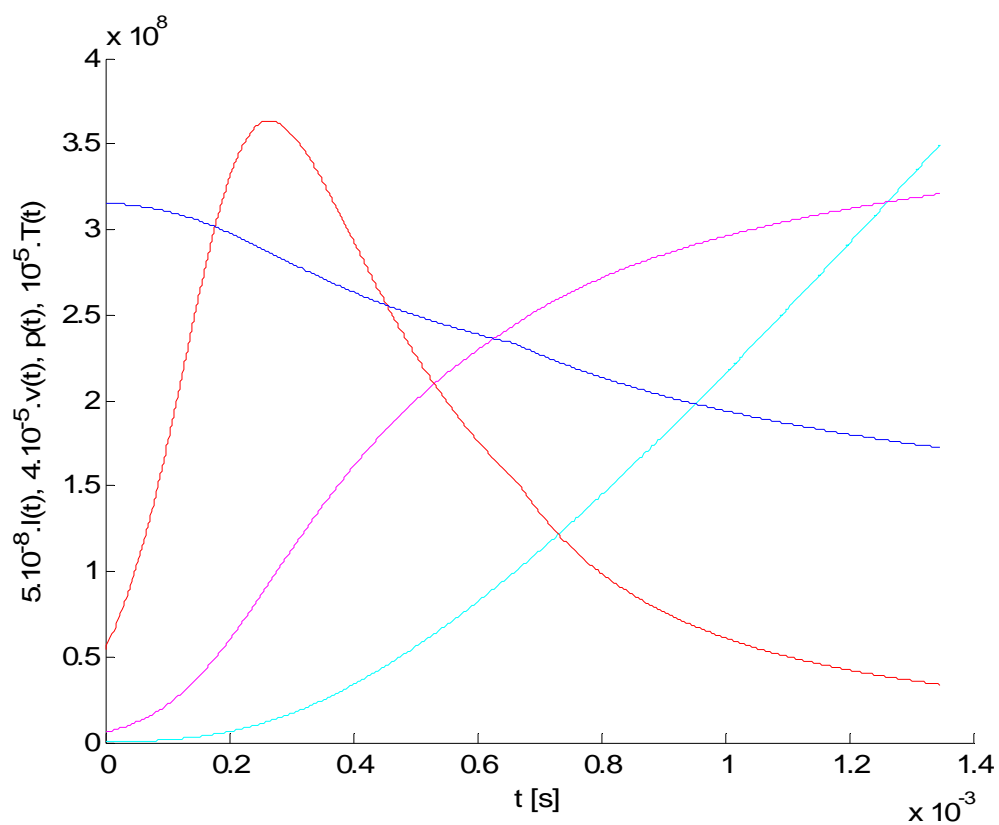
který jsme řešili numericky (explicitní analytické řešení neexistuje).

Výsledné průběhy vnitrobalistických veličin

Výsledné průběhy vzniknou složením spočítaných vnitrobalistických veličin za 2. a 3. periodu. Na obrázcích níže jsou znázorněny spočítané průběhy vnitrobalistických veličin v závislosti na dráze a na čase pro 2. a 3. periodu. Výpočet byl realizován v prostředí Matlab pomocí programu, který implementuje výše uvedené vztahy, vypočítává pomocí nich průběhy vnitrobalistických veličin a vynáší je do grafu.



Obr.1 Průběh vnitrobalistických veličin v (fialová), p (červená), T (modrá) a t (zelená) v závislosti na dráze l střely v hlavni.



Obr. 2 Průběh vnitrobalistických veličin v (fialová), p (červená), T (modrá) a l (bleděmodrá) v závislosti na čase t (transformace průběhů z výše uvedeného obrázku Obr. 1).

Výpočet vnitrobalistických veličin pro jiné teploty

Popsaný výpočet vnitrobalistických veličin platí pro teplotu $T_v = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na změnu teploty jsou ale z hlediska fyzikálně-chemických a balistických vlastností nejcitlivější parametry I_k , f a α , [1], str. 62. Z toho důvodu je třeba tyto parametry přepočítat s ohledem na teplotu prachové náplně a uvedený výpočet vnitrobalistických veličin zopakovat. Pro přepočet uvedených parametrů se používají následující empirické vztahy, [1], str. 62-63, [10], str. 147-149:

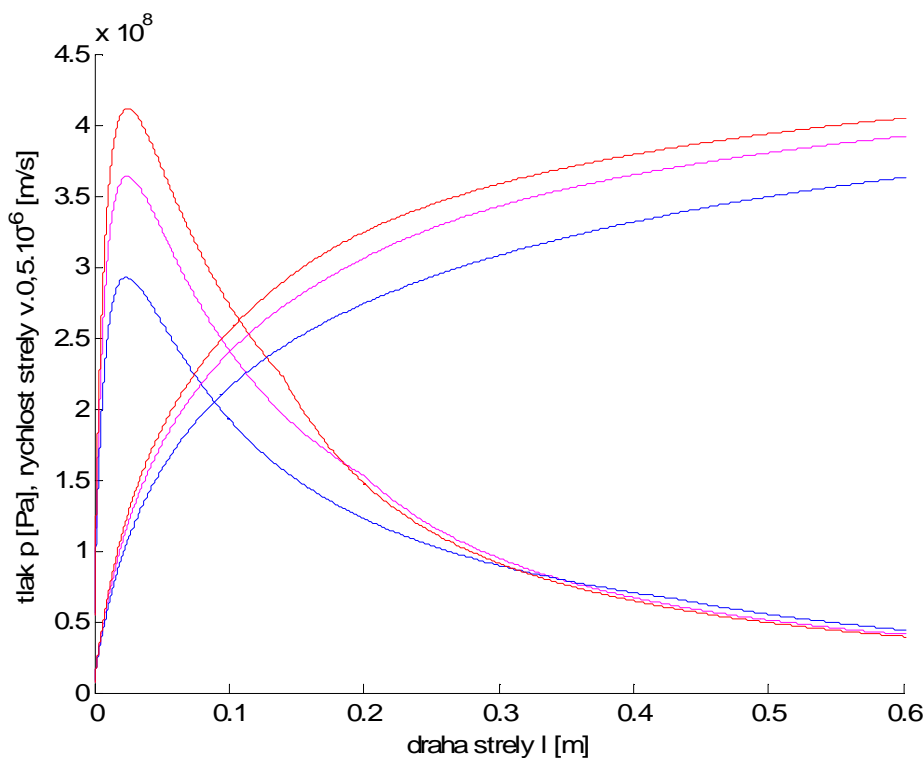
$$I_{K(t)} = I_{K(15^{\circ}\text{C})} \cdot [1 - i_{kt} \cdot (T_p - 15)],$$

$$f_{(t)} = f_{(15^{\circ}\text{C})} \cdot \left[1 + \frac{c_s}{Q_v} \cdot (T_p - 15) \right],$$

$$\alpha_{(t)} = \alpha_{(15^{\circ}\text{C})} - 0,133 \cdot c \cdot (T_p - 15) \cdot 10^{-9},$$

kde c_s je spalné teplo, které lze pro bezdýmné prachy volit $c_s = 1465\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, a i_{kt} je parametr, který pokud není znám lze volit $i_{kt} = 0,0016$.

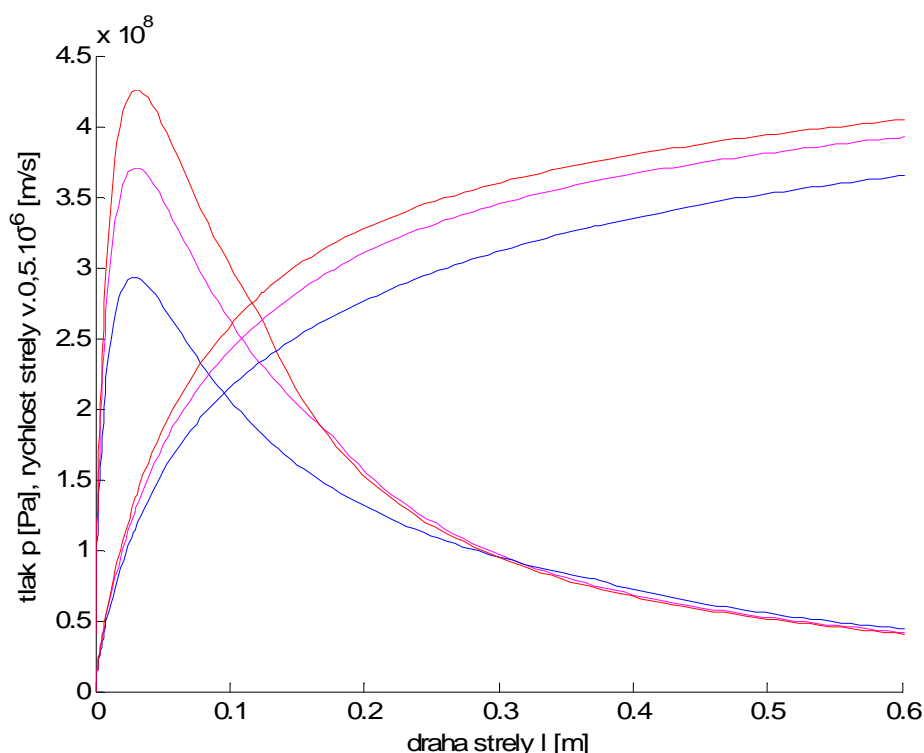
Na obrázku níže jsou znázorněny průběhy tlaků a rychlostí v závislosti na dráze pro teploty $T_v = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_v = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $T_v = +50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tyto průběhy jsou důležité pro následný návrh hlavně.



Obr. 3 Průběhy tlaků a rychlostí střely pro různé teploty ($T_v = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ - fialová, $T_v = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ - modrá a $T_v = +50\text{ }^{\circ}\text{C}$ - červená) počítané pomocí analytické metody prof. Sluchockého.

4.1.2 Numerické řešení základní úlohy vnitřní balistiky

Pro numerické řešení základní úlohy vnitřní balistiky byl využit počítačový program. Jako vstupní parametry byly uvedeny výše uvedené údaje, které jsou totožné s údaji pro analytické řešení. Výsledné vypočítané průběhy tlaků pro různé teploty prachové náplně, a to $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou znázorněny na obrázku níže. Tyto průběhy jsou téměř totožné s průběhy, které jsme získali analytickým výpočtem. Odchyłky jsou zejména způsobeny zjednodušenými předpoklady analytické metody prof. Sluchockého. V příloze D jsou uvedeny číselné hodnoty získaných vnitrobalistických veličin v závislosti na čase (počínaje 2. periodou).



Obr. 4 Průběhy tlaků a rychlostí střely pro různé teploty ($T_v = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ - fialová, $T_v = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ - modrá a $T_v = +50\text{ }^{\circ}\text{C}$ - červená) počítané numericky.

Ze znalostí průběhů rychlosti střely na dráze pro různé teploty prachové náplně můžeme snadno odečíst hodnoty ústové rychlosti a počáteční energie. Ústovou rychlost ztotožníme pro jednoduchost s počáteční rychlostí (počáteční rychlost je fiktivní rychlost, která je o něco vyšší než ústová rychlost). Na základě počáteční rychlosti jsme schopni spočítat počáteční energii střely. V tabulce níže jsou uvedeny počáteční rychlosti a energie pro různé teploty.

Tabulka 1 Počáteční rychlosti a energie pro různé teploty.

Teplota [°C]	Počáteční (úst'ová) rychlost $v_0 \cong v_u$ [m/s]	Počáteční energie E_0 [J]
-50	729,9	2903,3
+15	782,3	3352,1
+50	808,8	3565,4

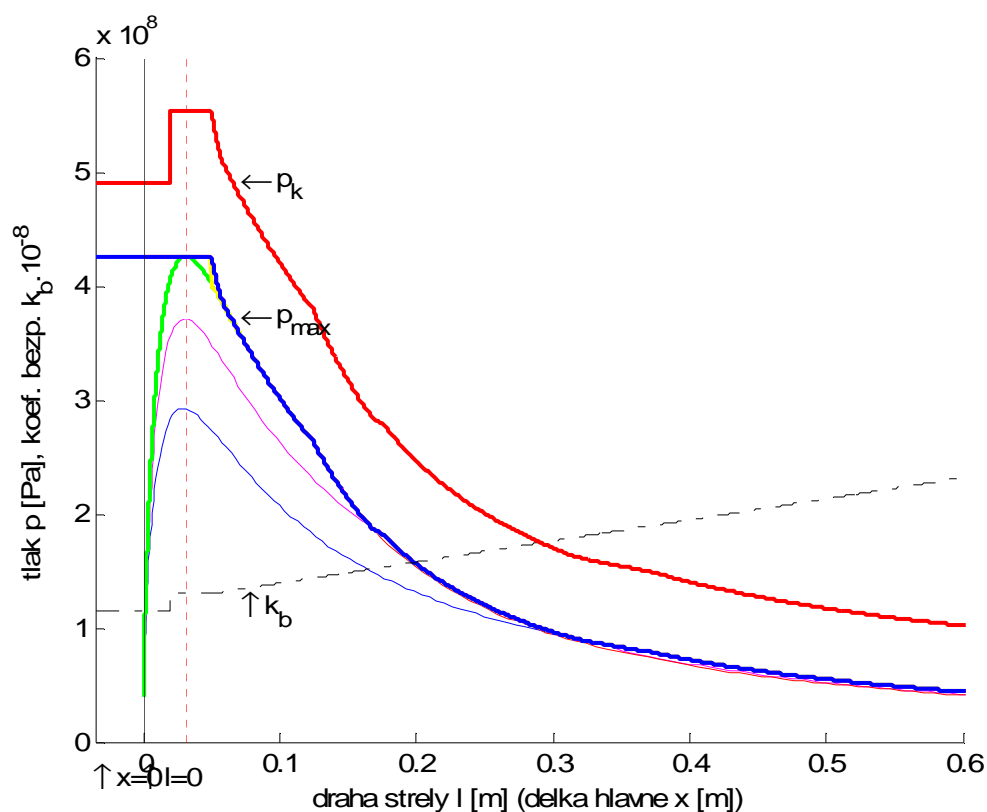
4.2 Výpočet konstrukčního tlaku

Při výpočtu konstrukčního tlaku vyjdeme nejprve z průběhu maximálního tlaku p_{\max} . Ten získáme jako obalovou křivku maxim tlaků získaných výpočtem pro různé teploty v každém bodě.

Z implementačního hlediska je třeba vzít v úvahu, že výpočty tlaků byly počítány jako funkce času a pro sestavení průběhu konstrukčního tlaku je třeba tyto tlaky převést na funkce dráhy. To není problém, protože dráhu máme spočítanu a závislost tlaku na dráze můžeme přímo vynést. Problém nastává v tom, že se jedná o diskrétní body a pro každou křivku tlaku jsou souřadnice nejen tlaku, ale i dráhy různé. Abychom tento problém vyřešili, interpolovali jsme průběhy jednotlivých tlaků spline křivkami a následně odečetli hodnoty tlaků v pevně daných stejných hodnotách dráhy. Pro každou hodnotu dráhy jsme našli odpovídající tři hodnoty tlaků, ze kterých jsme vybrali maximální hodnotu. Postupně jsme tak dostali celý průběh maxim tlaků v závislosti na dráze.

Na Obr. 5 je průběh maximálního tlaku (přesněji maxim tlaků) p_{\max} znázorněn zelenou čarou. Tento tlak je funkcí dráhy střely l v hlavni. Pro výpočet konstrukčního tlaku celé hlavně musíme tento tlak posunout doprava, tj. vyjádřit ho jako funkci délky hlavně x . Abychom toho dosáhli, stačí doplnit hodnoty, v délce odpovídající vzdálenosti dna nábojnice ode dna střely, nulovým tlakem. Vzdálenost dna nábojnice ode dna střely jsme získali z tabulek TDCC resp. z normy ČSN 39 5020 [2], viz příloha A.

Nyní je třeba maximální tlak upravit, aby lépe respektoval reálné průběhy tlaku v hlavni. Tlak mezi dnem hlavně a místem maximálního tlaku nahradíme konstantní hodnotou o velikosti maxima tlaku $p_m = \max(p_{\max})$. Současně posuneme místo maximálního tlaku o 2,5 násobek ráže směrem k ústí (posunutí se volí v rozsahu dvou až tří ráží, viz např. [5], str. 58, [6], str. 18, [7], str. 30). Vzniklý posun způsobí skokovou změnu tlaku a proto místo posunutého maxima spojíme hladkou křivkou se zbývajícím částí průběhu tlaku. Tuto část jsme aproximovali polynomem. Výsledný průběh takto upraveného tlaku je na obrázku znázorněn modrou čarou.



Obr. 5 Průběh maximálního a konstrukčního tlaku

Průběh konstrukčního tlaku p_k získáme tak, že upravený průběh maximálního tlaku vynásobíme koeficientem bezpečnosti k_b , který je nelineární funkcí délky hlavně, dle vztahu

$$p_k = k_b \cdot p_{\max},$$

kde koeficient bezpečnosti k_b nabývá těchto hodnot:

- pro oblast nábojové komory, tj. pro oblast ode dna nábojnice k ústí nábojnice, viz [2], $k_b = 1,1 \div 1,2$, volíme $k_b = 1,15$,
- pro oblast maximálního tlaku, tj. od ústí nábojnice k posunutému místu maximálního tlaku, $k_b = 1,2 \div 1,4$, volíme $k_b = 1,3$,
- v oblasti od místa posunutého maximálního tlaku k ústí se koeficient bezpečnosti mění lineárně a na ústí nabývá hodnoty $k_b = 2 \div 3$, volíme $k_b = 2,5$.

Průběh koeficientu bezpečnosti k_b je na obrázku výše znázorněn černou čerchovanou čarou. Výsledný průběh konstrukčního tlaku p_k je na obrázku výše znázorněn červenou čarou.

4.3 Pevnostní výpočet hlavně

4.3.3 Základní charakteristiky zvoleného hlavňového materiálu

Pro hlavěň volíme ušlechtilou chromvanadovou slitinovou konstrukční ocel 15 230.7 (Tabulka 3) o zaručeném chemickém složení (Tabulka 2), a zušlechtěnou na střední pevnost (zakalením a popouštěním) v celém průřezu. Tyto oceli se kalí při nižších průměrech (do 60 mm, prokalitelnost do 94 mm) do oleje, případně při vyšších průměrech (prokalitelnost do 122 mm) do vody [15], str. 68.

Tabulka 2 Chemické složení oceli 15 230.7 [15], str. 68.

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	V [%]
0,3	0,6	0,4	2,35	0,15

Tabulka 3 Základní charakteristiky oceli 15 230.7 [3], str. 237, [11], str. 22.

Název	Označení	Jednotka	Hodnota
Mez kluzu ²	$R_{e\ min} = \sigma_K$	MPa	835 (900)
Mez pevnosti	R_m	MPa	980 – 1180
Vrubová houževnatost	KCU	J.cm ⁻²	39
Minimální tažnost	A_5	%	12
Minimální kontrakce	Z	%	45
Tvrdost dle Brinella	HB		300 - 359
Souč. tepl. délkové roztažnosti [7]	α	K ⁻¹	$1,25 \cdot 10^{-5}$
Youngův modul pružnosti	E	GPa	198 (210)

4.3.4 Pevnostní výpočet jednoduché hlavně

Hlaveň můžeme navrhovat v pružné nebo pružně-plastické oblasti. V pružné oblasti může být hlavěň navrhována jako jednoduchá nebo složená (fretovaná). V pružně-plastické oblasti předpokládáme návrh jednoduché hlavně, i když by šla navrhovat i hlavěň fretovaná.

Vzhledem k tomu, že vycházíme ze zbraně pro náboj 7,62x39, který je výkonově slabší než uvažovaný náboj 7,62x51 NATO (308 Win.), pro který zbraň konstruujeme, lze očekávat, že stávající hlavěň nebude pevnostně vyhovovat a bude zapotřebí navrhnout nové řešení hlavně. Nejprve spočítáme hlavěň o stejném vnějším profilu jako je u Sa-58, ale budeme

² Hodnota meze kluzu 835 MPa je tabulková hodnota pro ocel 15 230.7. Vhodným tepelným zpracováním oceli 15 230 lze dosáhnout meze kluzu 900 MPa. Správně bychom v takovém případě měli ocel označovat 15 230.9.

uvažovat vnitřní vývrt hlavně už pro nový náboj 7,62x51 NATO (308 Win.). Výpočet provedeme v pružné i pružně-plastické oblasti.

Podmínka pevnosti hlavně počítané v pružné oblasti [5], vz. (6.19), str. 69, je

$$p_k \leq p_E,$$

v každém místě průřezu hlavně, kde p_k je konstrukční tlak vypočítaný v předchozí kapitole a p_E je tzv. mez pružného odporu, kterou spočítáme podle vztahu

$$p_E = \sigma_k \cdot \frac{a^2 - 1}{\sqrt{3 \cdot a^4 + 1}},$$

kde $a = \frac{r_2}{r_1}$, přičemž r_1 je vnitřní poloměr vývrtu hlavně a r_2 je vnější poloměr hlavně.

Průběh meze pružného odporu je znázorněn na Obr. 8 na str. 71 této práce. Je zřejmé, že hlaveň nevyhovuje podmínce pevnosti v pružné oblasti.

Podmínka pevnosti hlavně počítané v pružně-plastické oblasti [5], vz. (6.29), str. 72, je

$$p_k \leq p_{A\rho},$$

v každém místě průřezu hlavně, kde p_k je konstrukční tlak vypočítaný v předchozí kapitole a $p_{A\rho}$ je tzv. autofretážní tlak pro proplastizování stěny do poloměru ρ , který spočítáme podle vztahu

$$p_{A\rho} = \frac{\sigma_k}{\sqrt{3}} \cdot \left(2 \cdot \ln \frac{\rho}{r_1} + \frac{r_2^2 - \rho^2}{r_2^2} \right).$$

Standardně se provádí kontrolní výpočet hlavně pro autofretážní tlak do třetiny tloušťky stěny podle vztahu

$$p_{A0,3} = \frac{\sigma_k}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{8 \cdot a^2 - 4 \cdot a - 4}{9 \cdot a^2} + 2 \cdot \ln \frac{2+a}{3} \right),$$

případně do poloviny tloušťky stěny podle vztahu

$$p_{A0,5} = \frac{\sigma_k}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{3 \cdot a^2 - 2 \cdot a - 1}{4 \cdot a^2} + 2 \cdot \ln \frac{1+a}{2} \right),$$

kde opět kde $a = \frac{r_2}{r_1}$. Průběhy autofretážních tlaků $p_{A0,3}$ a $p_{A0,5}$ jsou znázorněny

na Obr. 8 na str. 71 této práce. Je zřejmé, že hlaveň nevyhovuje podmínce pevnosti pro autofretážní tlak $p_{A0,3}$. Pro tlak $p_{A0,5}$ hlaveň vyhovuje, tj. lze očekávat, že hlaveň pevnostně vydrží, nicméně se jedná už o značné zatížení, které není ideální, a proto navrhujeme hlaveň jako fretovanou, tj. se snahou zůstat v pružné oblasti.

4.3.5 Pevnostní výpočet fretované hlavně

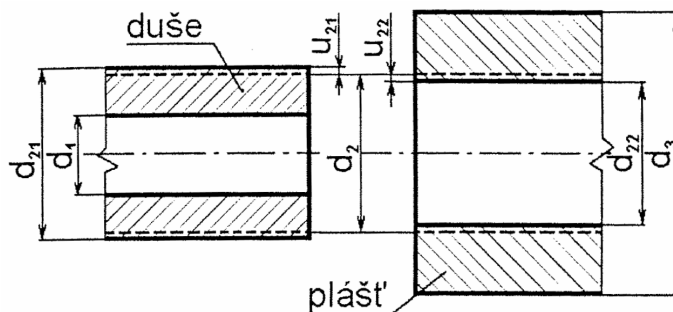
Hlaveň je do pouzdra zbraně zalisována a zajištěna střížným kolíkem. V rámci našich konstrukčních úvah budeme předpokládat, že část pouzdra zbraně, do které je hlaveň zalisována, bude sloužit jako plášť fretované hlavně a stávající hlaveň v této oblasti bude duše. Pro jednoduchost výpočtu budeme předpokládat, že uvažovaná část pouzdra, tj. plášť fretované hlavně, bude mít tvar tlustostěnné válcové nádoby.

Naší snahou je stanovit rozměry hlavně v oblasti, která bude fretovaná, resp. pouzdra, které bude sloužit jako plášť a následně ověřit pevnost takovéto fretované hlavně.

Stanovení rozměrů fretované hlavně

Rozměry pláště jsme získali z výkresu pouzdra pro Sa-58. Pro účely pevnostního výpočtu jsme uvažovali rozměry na nejnepříznivějších mezích tolerancí, tj. takové, které nám dávají nejmenší tloušťku pláště (nejmenší vnější průměr).

Důležité je určení správných rozměrů hlavně a pouzdra v oblasti zalisování se zohledněním výrobních tolerancí. Velikost přesahu určuje teplotu ohřevu pro nalisování i stykový tlak na rozhraní mezi hlavní (duší) a pouzdrem zbraně (pláštěm), viz Obr. 6. Pro účely stanovení vhodných rozměrů hlavně resp. pouzdra odvodíme vztah mezi průměrem hlavně d_{21} a průměrem otvoru v pouzdru zbraně d_{22} .



Obr. 6 Přesah u fretované hlavně. (Převzato z [7])

Absolutní přesah q_2 je definován vztahem, [7], vz. (9.10), str. 141,

$$q_2 = \frac{d_{21} - d_{22}}{2}.$$

Poměrný přesah γ_2 je definován vztahem, [7], vz. (9.9), str. 141,

$$\gamma_2 = \frac{q_2}{d_2}.$$

Jak je uvedeno v [7], str. 141, jeho hodnota se v technické praxi pohybuje v rozmezí $\gamma_2 = 0,001 \div 0,002$, ale tento rozsah by platil pro dělostřelecké hlavně. Pro malorážové hlavně se hodnota tohoto parametru pohybuje okolo $\gamma_2 = 0,005$.

Střední průměr d_2 je průměr hlavně resp. otvoru v pouzdru zbraně po sesazení a vychladnutí obou dílů. Odhadneme ho jako aritmetický průměr rozměrů dílů před sesazením

$$d_2 = \frac{d_{21} + d_{22}}{2}.$$

Dosazením q_2 a d_2 do vztahu pro γ_2 dostáváme výraz

$$\gamma_2 = \frac{d_{21} - d_{22}}{d_{21} + d_{22}}.$$

Úpravou tohoto výrazu dostáváme vztah mezi průměrem hlavně d_{21} a průměrem otvoru v pouzdru zbraně d_{22}

$$d_{21} = \frac{1 + \gamma_2}{1 - \gamma_2} \cdot d_{22}.$$

Velikost poměrného přesahu γ_2 je omezena teplotou ohřevu součástí pro nalisování, která by neměla překročit teplotu 400 – 450 °C. V opačném případě může dojít ke zhoršení vlastností materiálů součástí. Teplota ohřevu T_0 je určena vztahem, viz [7], vz. (9.13), str. 141,

$$T_0 = \frac{(1 + k_m) \cdot \gamma_2}{\alpha_t},$$

kde α_t je součinitel teplotní roztažnosti, $\alpha_t = 1,25 \cdot 10^{-5} K^{-1}$, k_m je součinitel, který udává míru montážní vůle δ_2 , kterou vyjadřujeme jako násobek poměrného přesahu γ_2 , tj. $\delta_2 = k_m \cdot \gamma_2$. Hodnota tohoto součinitele se pohybuje v rozsahu $k_m = 1 \div 2$.

Pro naše výpočty volíme $k_m = 1,0$ a $T_0 = 450\text{ }^\circ\text{C}$. Poměrný přesah γ_2 vypočteme z výše uvedeného vztahu pro teplotu ohřevu T_0

$$\gamma_2 = \frac{T_0 \cdot \alpha}{1 + k_m} = \frac{(450 + 273,15) \cdot 1,25 \cdot 10^{-5}}{1 + 1} \doteq 0,0045.$$

Po dosazení této hodnoty do vztahu pro d_{21} dostáváme

$$d_{21} = \frac{1 + \gamma_2}{1 - \gamma_2} \cdot d_{22} = \frac{1 + 0,0045}{1 - 0,0045} \cdot d_{22} = \frac{1,0045}{0,9955} \cdot d_{22} \doteq 1,009 \cdot d_{22}.$$

Můžeme volit rozměr pouzdra zbraně (včetně tolerancí) a vypočítat rozměr hlavně (včetně tolerancí) nebo naopak. Protože navrhujeme principiálně hlavěň, zvolíme rozměr pouzdra zbraně jako pevný. Navíc se přidržíme stávajícího rozměru pouzdra zbraně, tj. $d_{22} = 20,92_0^{+0,07} \text{ mm}$. Výpočtem podle výše uvedeného vztahu dostáváme tento rozsah hodnot průměru hlavně

$$d_{21} \doteq 21,10996 \div 21,18060 \text{ mm}.$$

Průměr hlavně v místě pro nalisování volíme $d_{21} = 21,1_{+0,01}^{+0,08} \text{ mm}$.

Absolutní přesah se pohybuje v rozmezí $q_2 \doteq 0,0950 \div 0,0953 \text{ mm}$, což je hodnota, která se blíží typickému rozsahu absolutního přesahu $q_2 = 0,1 \div 0,3 \text{ mm}$, viz [7], str. 141.

Ověření pevnosti fretované hlavně

Podmínka pevnosti fretované hlavně je stejná jako u hlavně počítané v pružné oblasti [5], vz. (6.19), str. 69, tj.

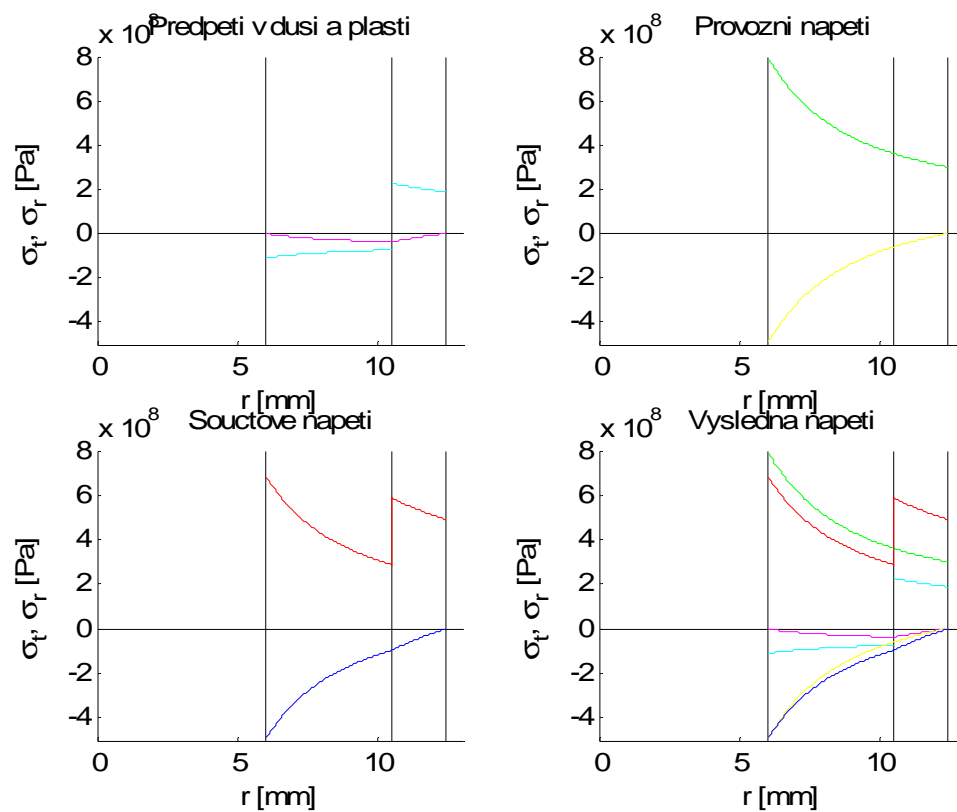
$$p_k \leq p_E,$$

v každém místě průřezu hlavně. Tlak na mezi pružného odporu pro fretovanou hlavěň vypočteme podle vztahu [7], vz. (9.17), str. 142,

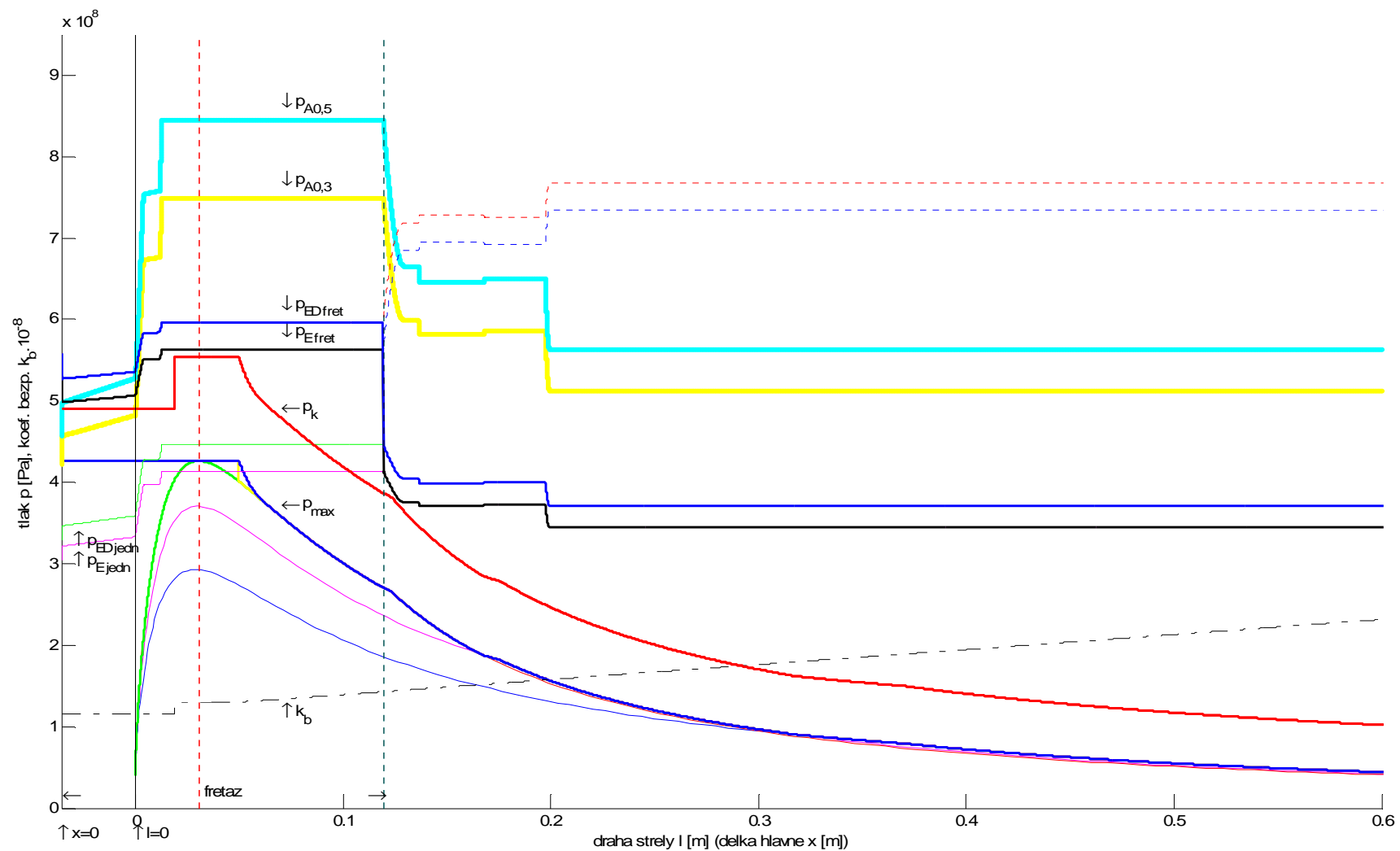
$$p_E = \frac{\sigma_k}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r_3^2 - r_1^2}{r_3^2} + E \cdot \gamma_2 \cdot \frac{r_3^2 - r_2^2}{r_3^2}.$$

Průběh tlak na mezi pružného odporu pro fretovanou hlavěň je vynesena na Obr. 8.

Pro ilustraci průběhů napětí ve fretované hlavni jsou na Obr. 7. níže znázorněny průběhy předpětí, provozních napětí a součtových napětí pro jeden řez hlavní v oblasti dna nábojové komory.



Obr. 7 Průběhy předpětí, provozních napětí a součtových napětí v oblasti dna nábojové komory.



Obr.8 Průběhy tlaků v závislosti na dráze střely v hlavni (l) resp. délce hlavně (x), zejména pak tlak na mezi pružného odporu pro jednoduchou a fretovanou hlaveň a autofretážní tlaky pro jednoduchou hlaveň.

5 Ostatní mechanizmy zbraně

5.1 Závěr - kontrola pevnosti uzamykacího uzlu

Uzamykací uzel je tvořen závorníkem, závorou a uzamykacími ozuby v pouzdře zbraně. Pevnostní kontrolu provedeme v místě, kde je nejslabší místo závěrového uzlu. Tímto místem jsou styčné plochy mezi závorou a pouzdrům zbraně.

Pevnostní výpočet se kromě geometrických rozměrů bude opírat také o materiálové charakteristiky materiálu, který má nižší pevnost. Závora je vyrobena z oceli 16 730 a pouzdro zbraně z oceli 14 331. Z hlediska pevnosti má nižší pevnost pouzdro zbraně, a proto v pevnostním výpočtu budeme uvažovat právě charakteristiky tohoto materiálu. Pokud pevnostní výpočet vyhoví v nejslabším místě závěrového uzlu, lze z toho usuzovat, že z hlediska pevnosti vyhoví i celý závěrový uzel.

Uzamykací ozuby v pouzdře zbraně jsou dva na každé straně pouzdra zbraně a mají tvar hranolu o rozměrech $b_{oz} = 5,5 \text{ mm}$, $h_{oz} = 3,2 \text{ mm}$, $l_{oz} = 9 \text{ mm}$.

Provedeme kontrolu závěrového uzlu na stříh (smyk) a kontrolu na otláčení styčné plochy. Nejprve určíme sílu, kterou je závěrový uzel namáhán. Ta je odvozena od tlaku prachových plynů na dno nábojnice. Namáhané ozuby v pouzdru zbraně jsou dva, na každý působí síla

$$F_{oz} = \frac{F_D}{2},$$

kde F_D je síla od tlaku prachových plynů působící na dno nábojnice, kterou vypočítáme podle vztahu

$$F_D = p_D \cdot S_D = p_D \cdot \frac{\pi \cdot d_n^2}{4},$$

kde p_D je tlak prachových plynů působících na dno nábojnice, S_D je vnitřní plocha dna nábojnice a d_n je vnitřní průměr dna nábojnice, $d_n = 9 \text{ mm}$. Pro kontrolu pevnosti dosazujeme za p_D maximální tlak v hlavni při extrémní teplotě $+50^\circ \text{C}$, tj. $p_D = p_{\max(+50^\circ \text{C})}$.

Po dosazení konkrétních hodnot do výše uvedených vztahů dostáváme pro sílu působící na jeden ozub hodnotu

$$F_{oz} = p_D \cdot \frac{\pi \cdot d_n^2}{8} = 426,2 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot (8,6 \cdot 10^{-3})^2}{8} \doteq 13557 \text{ N}.$$

Kontrola ozubu na stříh

Provedeme kontrolu ozubu na stříh (smyk). Pro smykové napětí musí platit

$$\tau = \frac{F_{oz}}{b_{oz} \cdot l_{oz}} \leq \tau_{dov},$$

kde $\tau_{dov} = \frac{\sigma_k}{k_c}$ je dovolené smykové napětí, konstanta $k_c = \sqrt{3} \div 2$, volíme $k_c = \sqrt{3}$. Po dosazení do výše uvedené podmínky dostáváme

$$\frac{13557}{5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^{-3}} = 273,9 \text{ MPa} \leq \frac{650 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} = 375,3 \text{ MPa}.$$

Podmínka je splněna, rozměry ozubu i jeho materiál vyhovují z hlediska uvažovaného stříhového namáhání.

Kontrola ozubu na otláčení

Kontrola ozubu na otláčení je důležitá kvůli stálé malé závěrové vůli. Pro napětí v otláčení musí platit

$$\sigma_{otl} = \frac{F_{oz}}{b_{oz} \cdot h_{oz}} \leq \sigma_{dov},$$

kde σ_{dov} je dovolené napětí v otláčení. Dle [11] se toto napětí pohybuje v rozmezí $\sigma_{dov} = 800 \div 1000 \text{ MPa}$. Po dosazení do výše uvedené podmínky dostáváme

$$\frac{13557}{5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,2 \cdot 10^{-3}} = 770,3 \text{ MPa} \leq 800 \cdot 10^6 \text{ Pa}.$$

Podmínka je splněna, rozměry ozubu i jeho materiál vyhovují z hlediska uvažovaného namáhání na otláčení.

5.2 Výpočet zásobníku

Standardní třicetiranný zásobník pro samopal vz. 58 se skládá z těla schránky včetně vyústění z hliníkové slitiny, uzávěru zásobníku z ocelového plechu, ocelové pružiny a ocelového podavače. Hmotnost celého prázdného zásobníku je 190 g, plného zásobníku (30 nábojů) je 680 g.

Pro navrhovanou samonabíjecí odstřelovací pušku budeme používat desetiranný zásobník pro náboj 308 Win. Vyjdeme z původního zásobníku a zkrátíme výšku těla schránky, zvětšíme její délku a upravíme i délku podávací pružiny. Systém zachycení zásobníku v pouzdře zbraně ponecháme, pouze prodloužíme délku a upravíme vyústění zásobníku. Podobně upravíme (prodloužíme) i pouzdro závěru v místě otvoru pro zásobník. U podavače prodloužíme jeho délku, ale výšku ponecháme. Výška těla zásobníku bude určena výškou podavače a sloupcem pěti nábojů z důvodu uvažování dvouřadého zásobníku. Zásobník je zobrazen na sestavě samonabíjecí odstřelovací pušky, která je uvedena v příloze.

5.2.1 Výpočet síly podávací pružiny

Pro zásobník je důležité určit sílu pružiny. Ta je důležitá pro to, aby byla splněna podmínka včasného podání náboje do nábojiště, tj. musí platit nerovnost

$$t_p \leq \Delta t_z,$$

kde t_p je doba podání, tj. doba posunu sloupce nábojů o rozteč mezi náboji, a Δt_z je doba kmitu závěru v zadní poloze, tj. doba pohybu závěru od místa dna náboje do zadní úvratě (odrazu) a zpět ke dnu náboje.

Pro sílu podávací pružiny platí za předpokladu rovnoměrného zrychlení sloupce nábojů vztah, [6], str. 81,

$$F_{pr} = m_c \left(\frac{2 \cdot s}{t_p^2} + g \right),$$

kde m_c je hmotnost nábojů v zásobníku, podavače a 1/3 hmotnosti podávací pružiny, s je rozteč mezi náboji, tj. největší průměr náboje. Pro náboj 308 Win. je $s = 12,01 \text{ mm}$. $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ je gravitační zrychlení, které je v uvedeném vztahu s kladným znaménkem, protože zásobník je umístěn dole a síla pružiny působí proto proti gravitační síle.

Jeden náboj 308 Win. váží $m_{nb} = 22,4 \text{ g}$ [4], str. 66. Deset nábojů bude představovat hmotnost 224 g. Hmotnost podavače v upraveném zásobníku je přibližně $m_{po} = 25 \text{ g}$. Hmotnost podávací pružiny je přibližně 18 g. Hmotnost celého prázdného zásobníku pro deset nábojů 308 Win. je cca 112 g. Hmotnost celého plného zásobníku pro deset nábojů 308 Win. je cca 336 g.

Vypočteme sílu podávací pružiny pro plný zásobník, tj. pro deset nábojů, $n = 10$, i pro poslední náboj v zásobníku, tj. $n = 1$. Hmotnost m_{cn} plného zásobníku bude

$$m_{cn} = n \cdot m_{nb} + m_{po} + \frac{1}{3} m_{pz} = 10 \cdot 22,4 + 25 + \frac{1}{3} \cdot 18 = 255 \text{ g}$$

Po dosazení do výše uvedeného vztahu dostáváme pro potřebnou sílu podávací pružiny

$$F_{pr8} = m_{cn} \cdot \left(\frac{2 \cdot s}{t_p^2} + g \right) = 255 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{2 \cdot 12,01 \cdot 10^{-3}}{0,0159^2} + 9,81 \right) \doteq 26,73 \text{ N}$$

Hmotnost m_{c1} zásobníku s jedním nábojem bude

$$m_{c1} = m_{nb} + m_{po} + \frac{1}{3} m_{pz} = 22,4 + 25 + \frac{1}{3} \cdot 18 = 53,4 \text{ g}$$

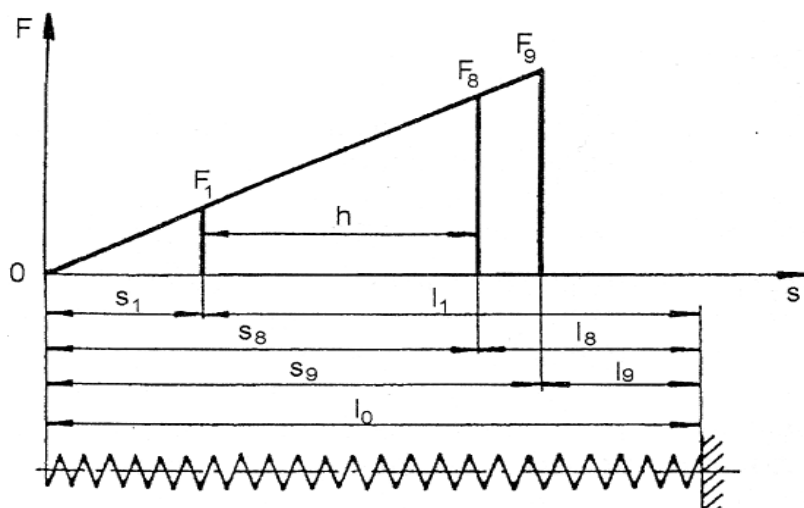
Po dosazení do výše uvedeného vztahu dostáváme pro potřebnou sílu podávací pružiny

$$F_{pr1} = m_{c1} \cdot \left(\frac{2 \cdot s}{t_p^2} + g \right) = 53,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{2 \cdot 12,01 \cdot 10^{-3}}{0,0159^2} + 9,81 \right) \doteq 5,60 \text{ N}$$

Za dobu podání t_p jsme dosadili hodnotu doby kmitu závěru v zadní poloze, kterou jsme získali z funkčního diagramu, $t_p \doteq 0,0159 \text{ s}$. Vypočtená síla podávací pružiny F_{pr1} resp. F_{pr8} tak představuje minimální potřebnou sílu, aby byla splněna podmínka včasného podání náboje z zásobníku do nábojiště.

5.2.2 Výpočet rozměrů podávací pružiny

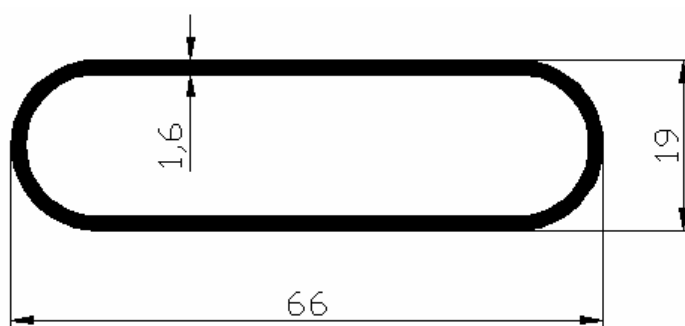
Na základě vypočítaných potřebných sil podávací pružiny pro dva krajní stavy můžeme stanovit charakteristiku pružiny, viz [6], str. 109-113, [16], kap 2 (zejména 2.2 - 2.5), str. 341 (342-358).



Obr. 9 Charakteristika válcové šroubové pružiny. Převzato z [6], str. 110.

Průměr drátu volíme $d = 1,6 \text{ mm}$, což je jednak průměr podávací pružiny u samopalu vz. 58 a jednak jde o přednostní průměr dle např. [16], tab. 11, str. 352, nebo [3], str. 621.

Pružina bude mít obdélníkový profil se zaoblenými hranami, tedy stejný jako u samopalu vz. 58. Délka profilu bude ale větší. Rozměry profilu podávací pružiny volíme s ohledem na rozměry náboje $66 \times 19 \text{ mm}$, resp. tvaru zásobníku, viz Obr. 10.



Obr. 10 Profil podávací pružiny, rozměry v mm.

Takovouto profilově vinutou pružinu lze počítat tak, že ji nahradíme ekvivalentní válcovou šroubovou pružinou o stejné ploše profilu. V našem případě bude $D = 2 \cdot \sqrt{\frac{66 \cdot 19}{\pi}} \doteq 40 \text{ mm}$.

Na základě známých hodnot F_{pr1} a F_{pr8} a pracovního zdvihu pružiny (dvouřadý zásobník) $h = \frac{n}{2} \cdot s = 5 \cdot 12,01 = 60,05 \text{ mm}$ lze vypočítat konstantu tuhosti pružiny, viz [16], str. 344,

$$c_{pr} = \frac{F_{pr8} - F_{pr1}}{h} = \frac{17,8 - 3,9}{60,05 \cdot 10^{-3}} \doteq 351,9 \text{ N / m}.$$

Dále můžeme využít vztahu pro deformaci (stlačení) pružiny, viz [16], str. 350,

$$h = \frac{8 \cdot \Delta F \cdot D^3 \cdot n_z}{G \cdot d^4},$$

kde $G = 8,05 \cdot 10^4 \text{ MPa}$ je modul pružnosti ve smyku pro pružinový drát, viz [16], str. 353. Úpravou tohoto výrazu můžeme vyjádřit poměr změny síly ΔF a zdvihu pružiny h , tedy tuhost pružiny, viz [16], str. 351,

$$c_{pr} = \frac{\Delta F}{h} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n_z}.$$

Jedinou neznámou je v tomto výrazu počet závitů

$$n_z = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot c_{pr}} = \frac{8,05 \cdot 10^{10} \cdot (1,6 \cdot 10^{-3})^4}{8 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 231,5} \doteq 2,94.$$

Pro spolehlivou funkci podávací pružiny je potřeba volit počet závitů větší než vypočítaných $n_z = 2,94$ závitů. Volíme pro jistotu $n_z = 5$ závitů.

5.3 Bicí mechanizmus

Úkolem bicího mechanismu je zajistit spolehlivou a včasnou iniciaci náboje. Bicí mechanizmus jsme v našem návrhu oproti Sa-58 mírně upravili, a to tak, že jsme prodloužili délku zápalníku o polovinu. Úderník jsme ponechali původní. Touto úpravou dosáhneme jen mírně změněných parametrů bicího mechanismu. Hmota bicího závěru, která se pohybuje, je v podstatě omezena jen na úderník (zápalník se téměř nepohybuje). Prodloužený zápalník má dobrou vlastnost v tom, že díky větší pružnosti lépe odolává namáhání [6], str. 97. Parametry bicí pružiny, tj. předpětí a tuhost uvažujeme stejné jako u Sa-58. Bicí pružinu nebudeme proto navrhovat, ale provedeme pouze její kontrolu na spolehlivou iniciaci zápalky náboje [16], kap. 1.2.

Podmínkou pro správnou funkci bicího mechanismu, [16], vz. (252), str. 390, je aby

$$E_{uz} \geq 1,5 \cdot E_{iz},$$

kde E_{uz} je dopadová energie úderníku se zápalníkem a E_{iz} je iniciační energie zápalky. Protože použitý náboj 308 Win. používá stejný typ zápalky jako náboj 7,62x39, budeme uvažovat $E_{iz} = 0,539 \text{ J}$ [16], tab. 14, str. 390.

Použitý bicí mechanismus je kohoutkového typu s přímoběžným kladívkem (úderníkem). Po nárazu úderníku na zápalník může dojít ke krátkému odskočení úderníku, nicméně pro naše účely budeme uvažovat, že se jedná o dokonale nepružný ráz, tj. po nárazu úderníku na zápalník pokračují obě tělesa společně vpřed a podílí se na iniciaci zápalky.

Rychlost úderníku se zápalníkem po rázu [16], vz. (257), str. 390, je

$$v_{uz} = \frac{m_{ud}}{m_{za} + m_{ud}} \cdot v_{ud} ,$$

kde $m_{ud} = 25 \text{ g}$ je hmotnost úderníku, $m_{zp} = 4,5 \text{ g}$ je hmotnost zápalníku.

Po dosazení této rychlosti do vztahu pro kinetickou energii úderníku se zápalníkem dostáváme

$$E_{uz} = E_{ud} \cdot \frac{m_{ud}}{m_{zp} + m_{ud}} .$$

Potřebnou energii úderníku před rázem dostaneme vyloučením E_{ud} z předchozího výrazu

$$E_{ud} = E_{uz} \cdot \frac{m_{zp} + m_{ud}}{m_{ud}} .$$

Tato energie je úderníku dodána silou bicí pružiny působící po dráze. Bicí pružina vykoná práci (předá energii), která je dána vztahem

$$E_{bp} = \int_0^{x_{bp}} F(x) dx = \int_0^{x_{bp}} (F_{1bp} + c_{bp} \cdot x) dx = F_{1bp} \cdot x_{bp} + c_{bp} \cdot \frac{x_{bp}^2}{2} ,$$

kde $F_{1bp} = 10 \text{ N}$ je předpětí bicí pružiny, $c_{bp} = 408 \text{ N.m}^{-1}$ je tuhost bicí pružiny a $x_{bp} = 0,058 \text{ m}$ je dráha úderníku vykonaná uvolněním bicí pružiny.

Dosazením E_{bp} za E_{ud} dostáváme vztah pro kinetickou energii úderníku se zápalníkem

$$E_{uz} = \left(F_{1bp} \cdot x_{bp} + c_{bp} \cdot \frac{x_{bp}^2}{2} \right) \cdot \frac{m_{ud}}{m_{zp} + m_{ud}} \doteq 1,0794 \text{ J} .$$

Po dosazení do výše uvedené podmínky pro spolehlivou iniciaci zápalky dostáváme nerovnost

$$1,0794 \text{ J} \geq 0,8085 \text{ J} .$$

Kinetická energie bicího mechanismu (úderníku se zápalníkem) je tedy dostatečná pro spolehlivou iniciaci zápalky.

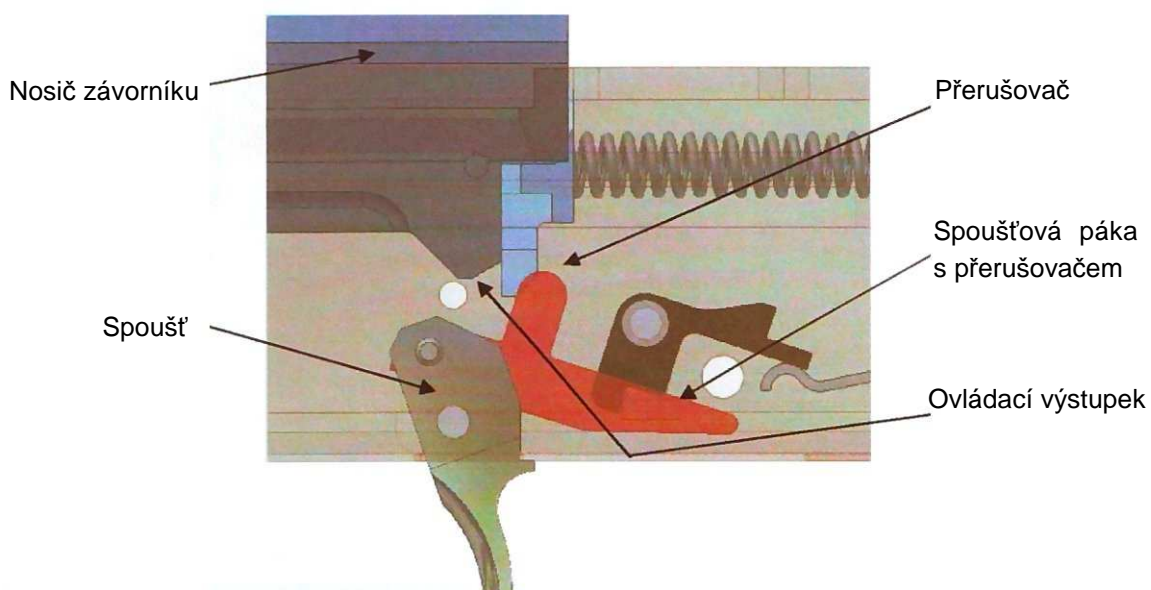
5.4 Spoušťový mechanismus

Ideový návrh odstřelovací pušky vychází z útočné pušky Sa-58, která je koncipována pro střelbu dávkou. Pro účely odstřelovací pušky požadujeme samonabíjecí funkci, ale nikoliv automatickou. Z toho důvodu je třeba upravit spoušťový mechanismus tak, aby zamezoval střelbě dávkou.

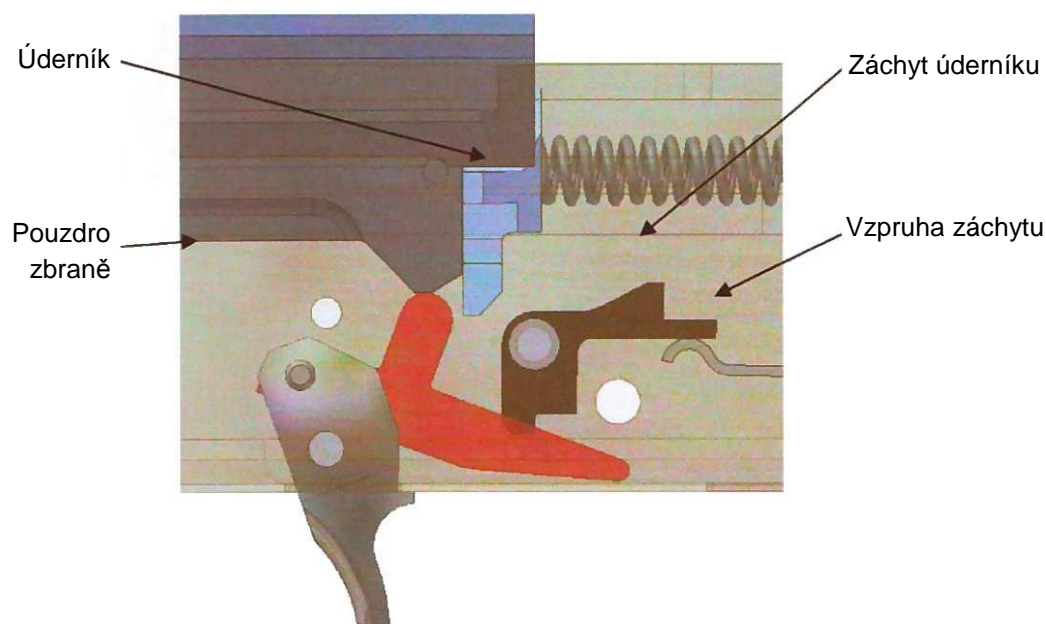
Protože při návrhu odstřelovací pušky jsme nezasáhli v pouzdru zbraně do míst, kde je umístěna spoušť a část bicího mechanismu, můžeme využít návrhu úpravy spoušťového mechanismu, který je včetně výpočtu uveden v [11], str. 35-39, a převzít ho bez jakýchkoliv úprav. Uvedený výpočet zůstává v platnosti i pro náš ideový návrh odstřelovací pušky. Upravený spoušťový mechanismus je znázorněn v příloze F.

Podstata navržené úpravy spoušťového mechanismu spočívá v osazení pouzdra zbraně kamenem nad upravenou spouští a realizací přerušovače. Vložením kamene se zabrání umístění původní spouště s oběma spoušťovými pákami. Těmito úpravami se zamezí snadnému předělání spoušťového mechanismu do původní automatické funkce zbraně.

Další úprava spočívá v realizaci přerušovače. Přerušovač je realizován jako výstupek na spoušťové páce, který je stlačován ovládacím výstupkem na nosiči závorníku. Tím je rozpojena (přerušena) mechanická vazba mezi záchytem úderníku a spoušťovou pákou. Následně se záchyt úderníku vrátí do polohy, při které je schopen zachytit úderník. Důsledkem této úpravy je, že střelec musí spoušť uvolnit a pro další výstřel ji opět stlačit. Na obrázcích níže je znázorněna situaci před přerušením a při přerušení.



Obr. 11 Situace před přerušením. (Obrázek převzat z [11], str. 37)



Obr. 12 Situace po přerušení. (Obrázek převzat z [11], str. 37)

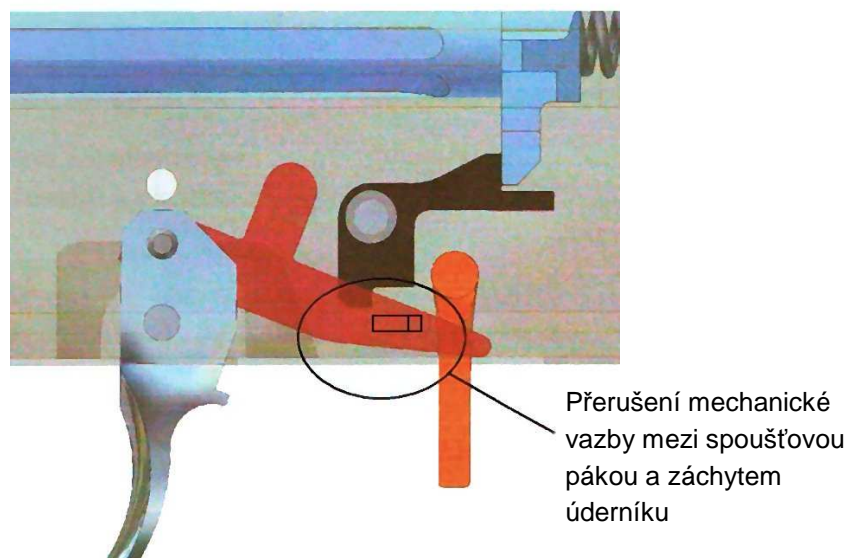
5.5 Pojistné ústrojí

Pojistné ústrojí slouží k zajištění bicího mechanismu proti odpálení v neuzamčené poloze, zabránění předčasnému odemčení závěru a zajištění zbraně proti neúmyslnému výstřelu při manipulaci se zbraní s nataženým bicím mechanismem.

K zajištění bicího mechanismu proti odpálení v neuzamčené poloze slouží automatická pojistka. Pojistka je ovládána výstupkem na nosiči závorníku. Zabráňuje kontaktu úderníku se záchytem úderníku před uzamčením závěru. Pojistka zůstala stejná jako u Sa-58.

K zabránění předčasnému odemčení závěru slouží podkluz nosiče závorníku. Teoreticky čím je podkluz delší, tím bezpečnější je zajištění zbraně. Délku podkluzu jsme ponechali stejnou jako u Sa-58.

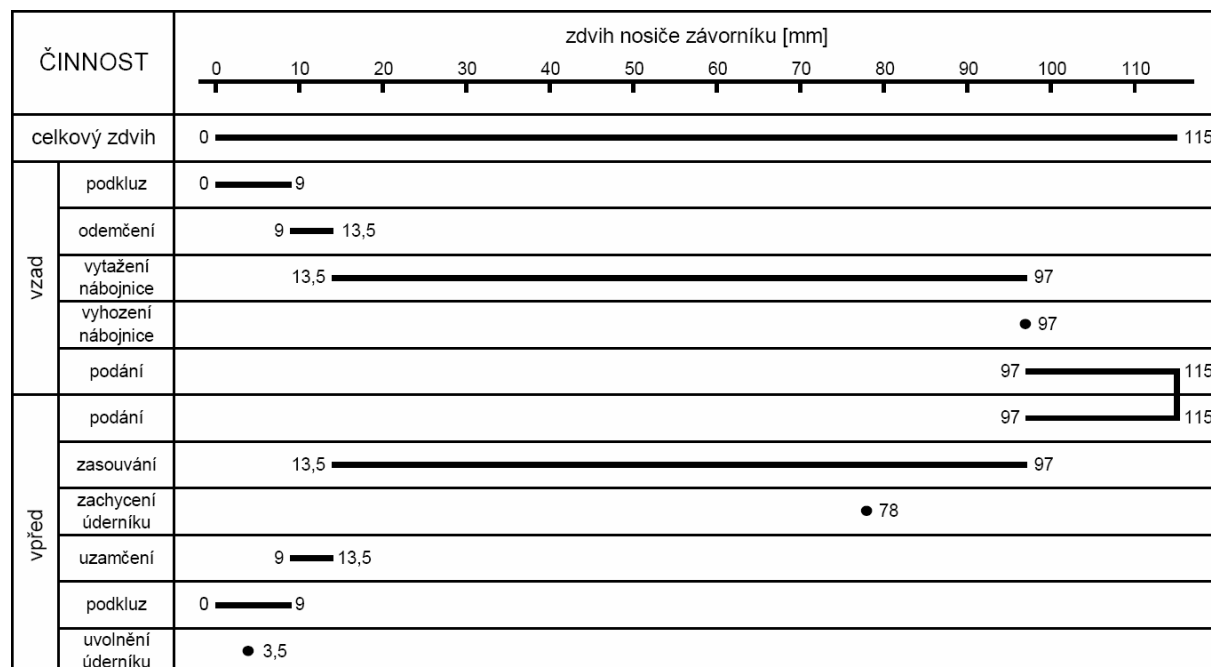
K zajištění zbraně proti neúmyslnému výstřelu při manipulaci s nataženým bicím mechanismem slouží manuální pojistka. Zde byly provedeny úpravy, které stejně jako v případě spoušťového mechanismu byly převzaty bez úprav z [11], protože uvedené řešení plně vyhovuje našim požadavkům na zajištění zbraně. Úprava manuální pojistky spočívá v odstranění výstupku pro spoušťovou páku bez přerušovače a odstranění západky pro polohu střelby dávkou. Pojistka má nyní dvě polohy a to odjištěno a zajištěno. Pojistka je ovládána rukou střelce a její funkce spočívá ve snížení spoušťové páky s přerušovačem, čímž dojde k rozpojení mechanické vazby mezi záchytem úderníku a spoušťovou pákou s přerušovačem.



Obr. 13 *Situace při zajištění spoušťového mechanismu manuální pojistkou.*
(Obrázek převzat z [11], str. 41)

6 Výpočet funkčního diagramu

Při výpočtu funkčního diagramu vyjdeme z kinematicko-geometrického diagramu (cyklogramu). Jako hlavní funkční člen budeme uvažovat nosič závorníku, viz Obr. 14.



Obr. 14 Cyklogram

Na základě cyklogramu můžeme rozdělit funkční cyklus na jednotlivé části, které popíšeme zvlášť. Cílem je najít závislost dráhy nosiče závorníku na čase. Pro popis pohybu závěru použijeme pohybové rovnice. Jejich řešení nám dá shledanou závislost dráhy na čase pro jednotlivé úseky. Složením těchto částí dostaneme výsledný funkční diagram.

Úlohu výpočtu funkčního diagramu rozdělíme na dvě hlavní části, a to na pohyb nosiče závorníku vzad a pohyb nosiče závorníku vpřed. V rámci jednotlivých částí sestavíme dílčí pohybové rovnice pro danou situaci. Rozdělení na dílčí části je ohraničeno pohyby částí, které se zapojují do pohybu.

6.1 Pohyb nosiče závorníku

6.1.1 Pohyb nosiče závorníku vzad

Podkluz nosiče závorníku – úsek 0–1

Během této fáze budeme předpokládat, že se píst díky impulsu prachových plynů pohybuje během celé této periody vzad spolu s nosičem závorníku, přičemž je stlačována předsuvná pružina, [16], str. 586. Vliv pružiny pístu v souladu s [16], kap. 5.2, vzhledem k její hmotnosti a tuhosti zanedbáváme. Ostatní části závěru jsou v klidu.

Pohybová rovnice má tvar [16], str. 574 a 586,

$$(m_{pi} + m_{nz} + \frac{1}{3} m_{pp}) \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{op}(t) - F_{pp}(x) - F_t,$$

kde $m_{pi} = 66 \text{ g}$ je hmotnost pístu, $m_{nz} = 380,81 \text{ g}$ je hmotnost nosiče závorníku (prodlouženého oproti původnímu, zvýšená hmotnost o 13 %), $m_{pp} = 19 \text{ g}$ je hmotnost předsuvné pružiny, $F_{op}(t)$ je hnací síla od impulsu odběru prachových plynů, $F_{pp}(x)$ je síla předsuvné pružiny, $F_t = 3 \text{ N}$ jsou pasivní odpory ve vedení závěru. Dle doporučení v [5], str. 31, je zahrnujme do výpočtu hodnotou 3 N .

Sílu předsuvné pružiny vyjádříme pomocí Hookeova zákona

$$F_{pp}(x) = F_{1pp} + c_{pp} \cdot x,$$

kde $F_{1pp} = 34 \text{ N}$ je předpětí předsuvné pružiny, $c_{pp} = 158 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ je tuhost předsuvné pružiny.

Stanovení síly $F_{op}(t)$ na základě soustavy nelineárních algebraicko-diferenciálních rovnic je poměrně obtížné, viz [16], kap. 5.2, str. 570-582. Pro ideový návrh vyjdeme ze zjednodušeného výpočtu, viz [16], str. 583-586. Výpočet je založen na určení maximální rychlosti závěru vzad na konci pohybu pístu a sním spojených částí závěru. Pro tento účel byl nalezen empirický vztah mezi impulsem odběru prachových plynů I_{op} a impulsem výstřelu na hlavě I_{hl} , viz [16], vz. (451), resp. [6], vz. (4.6), str. 72,

$$I_{op} = m_{nz} \cdot v = 2 \cdot \kappa_c \cdot \left(\frac{2}{\kappa_c + 1} \right)^{\frac{\kappa_c}{\kappa_c - 1}} \cdot A \cdot \Phi \cdot S_h \cdot \underbrace{\int_{t_0}^{t_c} p_{hl}(t) \cdot dt}_{=I_{hl}},$$

kde κ_c je adiabatický exponent (Poissonova konstanta), obvykle $\kappa_c = 1,26$ [16], str. 583, S_h je plocha průřezu hlavně, Φ je empirický koeficient závisející na uspořádání plynového válce a pístu a na A . Jeho hodnoty jsou tabelovány, viz např. [16], tab. 17, str. 584. A je poměr ploch průřezů kanálku a drážkované části vývrtu hlavně, $A = \frac{S_k}{S_h}$. Plochu průřezu hlavně přitom spočítáme např. dle vztahu [1], str. 34,

$$S_h = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d + d'}{2} \right)^2,$$

kde d je průměr vývrtu hlavně mezi protilehlými poli a d' je průměr vývrtu hlavně mezi protilehlými drážkami.

Průměr kanálku je dobrým regulačním prvkem, který výrazně ovlivňuje tvar funkčního diagramu. Čím má kanálek menší průměr, tím je doba trvání funkčního cyklu delší, současně tvar v místě odrazu je zaoblenější. Jako subjektivně nejlepší jsme zvolili průměr kanálku $d_{ka} = 1,8 \text{ mm}$. Tato hodnota dává relativně dlouhou dobu trvání funkčního cyklu a přitom tvar funkčního diagramu v blízkosti vrcholu má tvar srovnatelný s průběhem u Sa-58.

Uvedený vztah pro impuls odběru prachových plynů je v integrálním tvaru a můžeme z něj vyjádřit maximální rychlost nosiče záporníku na konci dodatečného účinku prachových plynů. Předpokládáme, že v průběhu pohybu pístu se stačily projevit dodatečné účinky prachových plynů na jeho urychlení před dosažením koncové polohy pístu (podkluzu). Pro naše účely by byl vítaný diferenciální tvar rovnice, tj. pohybová rovnice, ale ten není možný z uvedeného vztahu získat. Vztah totiž platí pro danou horní časovou mez (konec DÚPP) a čím více bychom ji zkracovali, tím větší chyby bychom se dopouštěli.

Pro praktické stanovení dráhy v závislosti na čase budeme postupovat tak, že doporučeným způsobem určíme maximální rychlost nosiče záporníku a částí s ním spojených. Maximální rychlost bude přitom v okamžiku, kdy píst dosáhl konce své dráhy.

Maximální rychlost vypočteme ze vztahu

$$v_{\max} = \frac{I_{op}}{m} = \frac{1}{m} \cdot 2 \cdot \kappa_c \cdot \left(\frac{2}{\kappa_c + 1} \right)^{\frac{\kappa_c}{\kappa_c - 1}} \cdot A \cdot \Phi \cdot I_{hl},$$

Impuls výstřelu na hlaveň I_{hl} získáme výpočtem dle [16], vz. (454), str. 585, příp. [6], vz. (4.6), str. 73,

$$\begin{aligned} I_{hl} &= \mu_f \cdot m_q \cdot (v_u - v_k) + (\beta - 0,5) \cdot m_\omega \cdot v_0 \doteq \\ &= 1,1 \cdot 0,0109 \cdot (784,2598 - 610,8259) + (1300 / 784,2598 - 0,5) \cdot 0,0029 \cdot 784,2598 \doteq 4,676 \text{ N} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

kde μ_f je součinitel fiktivnosti ($\mu_f = 1,1 \div 1,2$), volíme $\mu = 1,1$, v_0 je počáteční rychlost, kterou zde z důvodu hodnotové blízkosti ztotožníme s ústřovou rychlostí, viz [6], str. 73, v_k je rychlost střely v místě komunikačního kanálku, který je ve vzdálenosti 190 mm ode dna střely, β je součinitel výtoku plynů, $\beta = 1300 / v_0$.

Pohyb pístu a částí s ním spojených je nerovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb, u kterého neznáme jeho předpis, protože zjednodušený výpočet nám ho neposkytuje. Pokud bychom ho znali, mohli bychom snadno získat průběh dráhy na čase, tj. $x = x(t)$. Z výše zmíněné soustavy algebraicko-diferenciálních rovnic bychom tuto závislost mohli získat, ale pro naše účely vyjdeme z jednodušší úvahy, která bude pro náš úkol dostačovat.

Díky vypočítané maximální rychlosti na konci úseku můžeme spočítat kinetickou energii

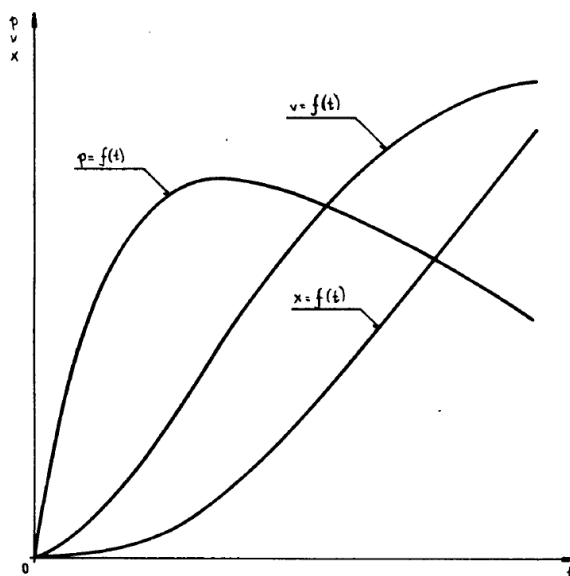
$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\max}^2.$$

Energie je rovna práci a tedy i součinu síly a dráhy, na které působí. Síla je ale funkcí dráhy resp. času a tuto závislost neznáme. Vyjdeme ale ze zjednodušujícího předpokladu a to, že síla je po celé dráze konstantní. Potom můžeme tuto sílu snadno vyjádřit dle vztahu

$$F_{op} = \frac{E_k}{x_{01}} = \frac{m \cdot v_{\max}^2}{2 \cdot x_{01}}$$

a následně ji dosadit do výše uvedené pohybové rovnice.

Poznamenejme, že díky předpokladu konstantní síly je i zrychlení konstantní. Integrací zrychlení dostaneme rychlost, která se lineárně zvětšuje. Integrací rychlosti dostaneme dráhu, která se zvětšuje kvadraticky. Pokud srovnáme tyto průběhy s průběhy v [16], obr. 397, str. 582, viz též obrázek níže, potom průběh dráhy má přibližně kvadratický průběh, i když aproximace rychlosti přímkou už není ideální a předpokládané konstantní zrychlení už je velmi vzdálené průběhu zobrazené tlakové křivky (která je přímo úměrná zrychlení).



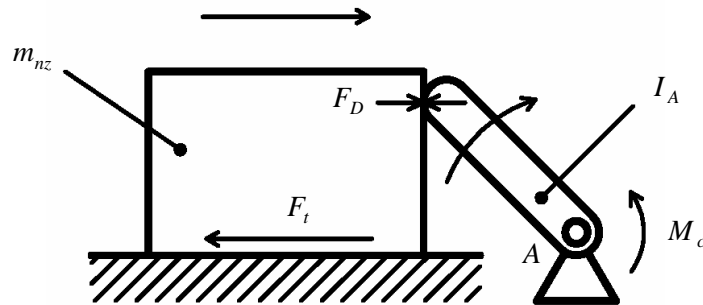
Obr. 15 Průběhy tlaku plynu (odpovídá zrychlení), rychlosti a dráhy pístu v plynovém válci v závislosti na čase. Převzato z [16], obr. 397, str. 582.

Výše uvedenou pohybovou rovnici doplňujeme o počáteční podmínky, kterými je počáteční dráha a rychlost nosiče závořníku (i pístu). Obě tyto počáteční podmínky jsou nulové, tj. $x(0) = 0$ a $\dot{x}(0) = 0$.

Otevírání závory – úsek 1–2

Během této fáze pokračuje pohyb nosiče závořníku vzad, dochází k dalšímu stlačování předsvuné pružiny a současně se otáčí (odemyká) závora. Budeme předpokládat, že se píst v této fázi už nepohybuje [16], str. 586. Ostatní členy závěru jsou v klidu. Nosič závořníku koná posuvný pohyb a závora, která je s ním v kinematické vazbě, koná rotační pohyb. Sestavíme proto dvě pohybové rovnice, jednu pro přímočarý pohyb nosiče závořníku a druhý pro otočný pohyb závory. Tyto diferenciální rovnice doplníme algebraickou rovnicí vyjadřující

kinematickou vazbu mezi oběma částmi závěru, viz Obr. 16. Hledání pohybových rovnic soustavy provedeme metodou uvolnění těles.



Obr. 16 Soustava těles – nosič závorníku a závora.

Pohybová rovnice nosiče závorníku má tvar

$$(m_{nz} + \frac{1}{3}m_{pp}) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{pp}(x) - F_z(x) - F_t$$

kde $F_{pp} = F_{lpp} + c_{pp} \cdot x$ je síla předsvuné pružiny, $F_z(x)$ je síla od závory, která působí proti pohybu nosiče závorníku a $F_t = 3\text{ N}$ jsou pasivní odpory ve vedení závěru. Dle doporučení v [5], str. 31, je zahrnujme do výpočtu hodnotou 3 N .

Pohybová rovnice závory má tvar

$$I_z \frac{d^2\theta}{dt^2} = F_z(x) \cdot L \cdot \sin \theta - G_T \cdot l_T \cdot \cos(\theta - \Delta\theta) - M_c,$$

kde $I_z = 8,5732 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ je statický moment setrvačnosti závory kolem osy otáčení, který jsme kvůli jeho tvarové složitosti získali výpočtem v AutoCADu, θ je úhel natočení závory počítaný od vodorovné osy a kladný ve směru hodinových ručiček, L je vzdálenost místa otáčení závory od místa záchytu závory nosičem závorníku, $G_T = m \cdot g$ je tíhová síla,

l_T je vzdálenost místa otáčení závory od těžiště závory, $\Delta\theta$ je konstantní hodnota úhlu mezi spojnicemi místa otáčení závory s místem záchytu závory nosičem závorníku a místa otáčení závory s těžištěm závory a M_c je čepové tření působící proti pohybu závory, dle [3], str. 34, volíme $M_c = 0,05 \text{ N} \cdot \text{m}$ (ocel - ocel).

Kinematický vztah mezi nosičem závorníku a závorou, viz Obr. 17, je

$$x = L \cdot (\cos \theta_0 - \cos \theta),$$

kde $\theta_0 \doteq 32^\circ$ je počáteční úhel závory, tj. úhel mezi vodorovnou osou a spojnici místa otáčení závory od místa záchytu závory nosičem závorníku při uzamčené závoře.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{-\omega^2 \cdot (m_{nz} + \frac{1}{3}m_{pp}) \cdot L^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta - G_T \cdot l_T \cdot \cos(\theta - \Delta\theta) - M_c - [F_{1pp} + c_{pp} \cdot L^2 \cdot \sin \theta \cdot (\cos \theta_0 - \cos \theta)] - F_t \cdot L \cdot \sin \theta}{(m_{nz} + \frac{1}{3}m_{pp}) \cdot L^2 \cdot \sin^2 \theta + I_z}$$

Řešením této soustavy diferenciálních rovnic získáme hledaný vztah pro úhel natočení závory v závislosti na čase $\theta = \theta(t)$. Dosazením do kinematického vztahu dostaneme hledanou závislost polohy nosiče závorníku na čase, tj. $x = x(t)$.

Počátečními podmínkami je počáteční úhel natočení závory, tj. $\theta(0) = \theta_0 \doteq 32^\circ$ a počáteční úhlová rychlost $\omega(0)$, kterou získáme z počáteční hodnoty rychlosti pohybu nosiče závorníku $v(0) = \dot{x}(0)$ pomocí přepočtu z kinematického vztahu. Hodnotu $v(0)$ přitom získáme z řešení pohybové rovnice předchozího úseku na konci tohoto úseku.

Vytažení nábojnice – úsek 2–3

V této fázi je závora je otevřena (závěr je odemčen), a tím je umožněn pohyb závorníku spolu se závorou, úderníkem a zápalníkem vzad díky pohybu nosiče závorníku. Současně dochází k vytahování nábojnice silou F_{ex} , která působí proti pohybu závěru. Dále pokračuje stlačování pedsuvné pružiny a nově dochází ke stlačování bicí pružiny. Nepředpokládáme tření mezi závorníkem a nábojem ve vyústění zásobníku.

Pohybová rovnice má tvar

$$(m_{nz} + m_{zk} + m_z + m_{ud} + m_{zp} + \frac{1}{3}m_{pp} + \frac{1}{3}m_{bp}) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{ex} - F_{pp}(x) - F_{bp}(x) - F_t,$$

kde $m_{zk} = 101,25 \text{ g}$ je hmotnost závorníku (prodlouženého oproti původnímu, zvýšená hmotnost o 35 %), $m_z = 32 \text{ g}$ je hmotnost závory, $m_{ud} = 26 \text{ g}$ je hmotnost úderníku, $m_{zp} = 4,5 \text{ g}$ je hmotnost zápalníku (prodlouženého oproti původnímu, zvýšená hmotnost o 50 %), $m_{bp} = 6 \text{ g}$ je hmotnost bicí pružiny, $F_{1pp} = 34 \text{ N}$ je předpětí pedsuvné pružiny, $F_{1bp} = 10 \text{ N}$ je předpětí bicí pružiny, $c_{pp} = 158 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ je tuhost pedsuvné pružiny, $c_{bp} = 408 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ je tuhost bicí pružiny, F_{bp} je síla bicí pružiny, $F_t = 3 \text{ N}$ jsou pasivní odpory ve vedení závěru. Dle doporučení v [5], str. 31, je zahrnujme do výpočtu hodnotou 3 N .

F_{ex} je výtahová síla potřebná k vytažení nábojnice z nábojové komory. Stanovení přesné hodnoty této síly je komplikované a proto se v praxi nahrazuje tzv. součinitelem fiktivnosti hmoty závěru φ_z , kterým se násobí hmotnost pohybujících se částí závěru, viz [6], str. 87, [13], str. 45. Hodnotu součinitele fiktivnosti hmoty závěru volíme $\varphi_z = 1,35$, [6], str. 87. Výtahová síla je při použití součinitele fiktivnosti hmoty závěru nulová, $F_{ex} = 0$.

Pohybová rovnice s využitím součinitele fiktivnosti hmoty závěru φ_z má tvar

$$\varphi_z \cdot (m_{nz} + m_{zk} + m_z + m_{ud} + m_{zp} + \frac{1}{3}m_{pp} + \frac{1}{3}m_{bp}) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{pp}(x) - F_{bp}(x) - F_t,$$

Počátečními podmínkami pro uvedenou pohybovou rovnici je poloha nosiče závorníku $x(0)$ a jeho rychlost $v(0) = \dot{x}(0)$ na konci předchozího úseku.

Vyhození nábojnice – úsek 3–4

Vyhození nábojnice můžeme popsat jako nepružný ráz nábojnice a vyhazovače. V [6], str. 91 je uveden vztah pro výpočet výhozné síly, který bere v úvahu hmotnost nábojnice, délku přemístění těžiště v průběhu vyhazování a dobu činnosti vyhazovače (stanovuje se z funkčního diagramu). Protože vliv rázu nábojnice na vyhazovač je velmi malý (projeví se jako jednorázový úbytek snížení rychlosti závěru), a proto si můžeme dovolit ho zanedbat [13], str. 41.

Pohyb závěru do zadní polohy (přeběh) – úsek 4–5

Během této fáze se pohybuje nosič závorníku, závěra, závorník, úderník a zápalník vzad. Současně pokračuje stlačování předsuvné a bicí pružiny. Nábojnice je už vyhozena a nedochází ani ke tření mezi závorníkem a nábojem v zásobníku.

Pohybová rovnice má tvar

$$(m_{nz} + m_{zk} + m_z + m_{ud} + m_{zp} + \frac{1}{3}m_{pp} + \frac{1}{3}m_{bp}) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{pp}(x) - F_{bp}(x) - F_t,$$

kde $F_t = 3\text{ N}$ jsou pasivní odpory ve vedení závěru. Dle doporučení v [5], str. 31 je zahrnujeme do výpočtu hodnotou 3 N .

6.1.2 Pohyb nosiče závorníku vpřed

Předchozí fáze končí nárazem nosiče závorníku na pouzdro závěru kde dochází k odrazu a pohybu závěru vpřed směrem k hlavni. Ráz není ani dokonale pružný ani dokonale nepružný, ale je kompromisem mezi obě těmito krajními variantami. Při dokonale pružném rázu by se rychlost dopadu rovnala rychlosti odrazu, tj. nedošlo by ke ztrátám. Při dokonale nepružném rázu by rychlost odrazu byla nulová. Veškerá energie by se proměnila zejména na deformační a tepelnou energii. V našem případě budeme uvažovat poměr rychlosti vyjádřený součinitelem rázu (restituce), [13], str. 42, [11], str. 48,

$$\varepsilon = \frac{v_{odraz}}{v_{dopad}} = 0,3.$$

Dopadovou rychlost získáme z řešení diferenciální rovnice pro poslední úsek pohybu nosiče závorníku vzad, a to na konci jeho pohybu. Odrazovou rychlost vypočteme podle výše uvedeného vztahu a bude představovat jednu z počátečních podmínek (derivaci dráhy) pro řešení diferenciální rovnice popisující první úsek pohybu závěru vpřed.

Vratný pohyb závěru ze zadní polohy (přeběh) – úsek 5–6

Během této fáze se pohybuje nosič závorníku, závora, závorník, úderník a zápalník vpřed. Současně dochází k uvolňování stlačené pedsuvné a bicí pružiny, které představují hnací síly, kterými je závěr urychlován směrem vpřed.

Pohybová rovnice má tvar

$$(m_{nz} + m_{zk} + m_z + m_{ud} + m_{zp} + \frac{1}{3}m_{pp} + \frac{1}{3}m_{bp}) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = F_{pp}(x) + F_{bp}(x) - F_t,$$

Vysouvání náboje ze zásobníku – úsek 6–7

V této fázi se pohybuje nosič závorníku, závora, závorník, úderník a zápalník vpřed a působením zasouvače na závorníku, který prochází vyústěním zásobníku, dochází k vysouvání náboje ze zásobníku. Současně pokračuje uvolňování stlačené pedsuvné a bicí pružiny, které představují hnací síly, kterými je závěr urychlován směrem vpřed. Proti těmto urychlujícím silám působí třecí síly ve vedení závěru a třecí síla při vysouvání náboje ze zásobníku. tato fáze je ukončena vysunutím náboje ze zásobníku a současně zachycen úderník.

Pohybová rovnice má tvar

$$(m_{nz} + m_{zk} + m_z + m_{ud} + m_{zp} + m_{nb} + \frac{1}{3}m_{pp} + \frac{1}{3}m_{bp}) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = F_{pp}(x) + F_{bp}(x) - F_m - F_t,$$

kde $m_{nb} = 22,4 \text{ g}$ je hmotnost náboje [4], str. 66, F_m je třecí síla způsobená vytahováním náboje ze zásobníku, tj. zejména tření mezi zasouvaným nábojem a nábojem umístěným pod ním (případně podavačem) a tření mezi nábojem a vyústěním zásobníku (u náboje dochází v podstatě ke tření jen jeho nábojnice). Další třecí síla může být mezi zasouvačem a dnem nábojnice. Při výpočtu třecí síly vyjdeme ze síly podávací pružiny, kterou je náboj na vrcholu zásobníku tlačěn na vyústění zásobníku, resp. kterou jsou působí náboje na sebe. Síla podávací pružiny se mění s počtem nábojů v zásobníku. Do výpočtu uvažované třecí síly zahrneme největší sílu, která bude mít za následek největší třecí odpor. Touto silou je síla F_{pr8} . Předpokládáme, že síla podávací pružiny působí kolmo na směr pohybu závěru. Třecí sílu způsobenou vytahováním náboje ze zásobníku můžeme vyjádřit pomocí vztahu

$$F_m = f_{oo} \cdot F_{pr8} + f_{om} \cdot F_{pr8} = (f_{oo} + f_{om}) \cdot F_{pr8} = 0,35 \cdot 17,8 = 6,23 \text{ N},$$

kde f_{oo} je součinitel smykového tření, pro ocel – ocel, $f_{oo} = 0,16$, f_{om} je součinitel smykového tření, pro ocel – mosaz, $f_{om} = 0,19$.

Zasouvání náboje do nábojové komory – úsek 7–8

V této fázi se pohybuje nosič závorníku, závora, závorník a zápalník vpřed, náboj je už vysunut ze zásobníku a zasouvá se do nábojové komory. Současně pokračuje i uvolňování stlačené předsuvné pružiny, která představuje hnací sílu, kterou je závěr urychlován směrem vpřed. Úderník byl zachycen spoušťovým mechanismem a nedochází tak už k jeho pohybu a ani síla bicí pružiny se dále nepodílí na urychlování závěru vpřed. Proti těmto urychlujícím silám působí třecí síly ve vedení závěru F_t a třecí síla při zasouvání náboje do nábojové komory F_{tz} .

Pohybová rovnice má tvar

$$(m_{nz} + m_{zk} + m_z + m_{nb} + \frac{1}{3}m_{pp}) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = F_{pp}(x) - F_{tz} - F_t.$$

Uzamčení závory – úsek 8–9

Během této fáze pokračuje pohyb nosiče závorníku vpřed, dochází k dalšímu uvolňování předsuvné pružiny a současně se otáčí závora a uzamyká závěr. Ostatní členy závěru jsou v klidu. Nosič závorníku koná posuvný pohyb a závora, která je s ním v kinematické vazbě, koná rotační pohyb. Pohybové rovnice i vztah pro kinematickou vazbu mezi nosičem závorníku a závorou budou mít podobný tvar jak bylo odvozeno výše pro fázi pohybu závěru vzad. Jedná se stejný typ pohybu akorát konaný v opačném směru. Rozdíl je v tom, že předsuvná pružina nepůsobí proti pohybu, ale naopak závěr urychluje. Podobně se chová i tíhová síla, která napomáhá uzamykání závory.

Pohybová rovnice nosiče závorníku má tvar

$$(m_{nz} + \frac{1}{3}m_{pp}) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = F_{pp}(x) + F_z(x) - F_t.$$

Pohybová rovnice závory má tvar

$$I_z \frac{d^2\theta}{dt^2} = -F_z(x) \cdot L \cdot \sin \varphi + G_T \cdot l_T \cdot \cos(\theta - \Delta\theta) - M_c.$$

Vyloučením síly $F_z(x)$ z uvedených pohybových rovnic a dosazením za druhou derivaci polohy dostaneme pohybovou rovnici soustavy ve tvaru

$$(m_{nz} + \frac{1}{3}m_{pp}) \cdot L \cdot (\dot{\theta}^2 \cdot \cos \theta + \ddot{\theta} \cdot \sin \theta) = \frac{-I_A \cdot \ddot{\theta} + G_T \cdot l_T \cdot \cos(\theta - \Delta\theta) - M_c}{L \cdot \sin \theta} + (F_{lpp} + c_{pp} \cdot x) - F_t.$$

Opět ji můžeme pomocí substituce převést na dvě diferenciální rovnice prvního řádu. Substituční vztah a současně jedna z diferenciálních rovnic bude mít tvar

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega.$$

S pomocí této substituce má pohybová rovnice tvar

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{-\omega^2 \cdot (m_{nz} + \frac{1}{3}m_{pp}) \cdot L^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + G_T \cdot l_T \cdot \cos(\theta - \Delta\theta) - M_c + [F_{lpp} + c_{pp} \cdot L^2 \cdot \sin \theta \cdot (\cos \theta_0 - \cos \theta)] - F_t \cdot L \cdot \sin \theta}{(m_{nz} + \frac{1}{3}m_{pp}) \cdot L^2 \cdot \sin^2 \theta + I_z}.$$

Uvedené diferenciální rovnice jsou pohybovými rovnicemi pro neznámý úhel natočení závory. Pomocí kinematického vztahu můžeme následně převést nalezenou závislost natočení závory $\theta(t)$ na polohu nosiče závorníku $x(t)$.

Počátečními podmínkami je úhel natočení závory v otevřené poloze, tj. $\theta(0) = \theta_0 \doteq 48^\circ$ a počáteční úhlová rychlost $\omega(0)$, kterou získáme z počáteční hodnoty rychlosti pohybu nosiče závorníku $v(0) = \dot{x}(0)$ pomocí přepočtu z kinematického vztahu. Hodnotu $v(0)$ přitom získáme z řešení pohybové rovnice předchozího úseku na konci tohoto úseku.

Podkluz nosiče závorníku – úsek 9–10

Během této fáze se pohybuje pouze nosič závorníku. Předpokládáme, že píst se stačil vrátit díky své pružině pístu do výchozí polohy a nebrání tak pohybu nosiče závorníku. Případné uvolnění a pohyb úderníku se zápalníkem nemá bezprostřední vliv na pohyb nosiče závorníku jako hlavního sledovaného členu a proto nemá smysl ho v pohybové rovnici uvažovat. Ostatní části závěru jsou v klidu.

Pohybová rovnice má tvar

$$(m_{nz} + \frac{1}{3}m_{pp}) \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = F_{pp}(x) - F_t.$$

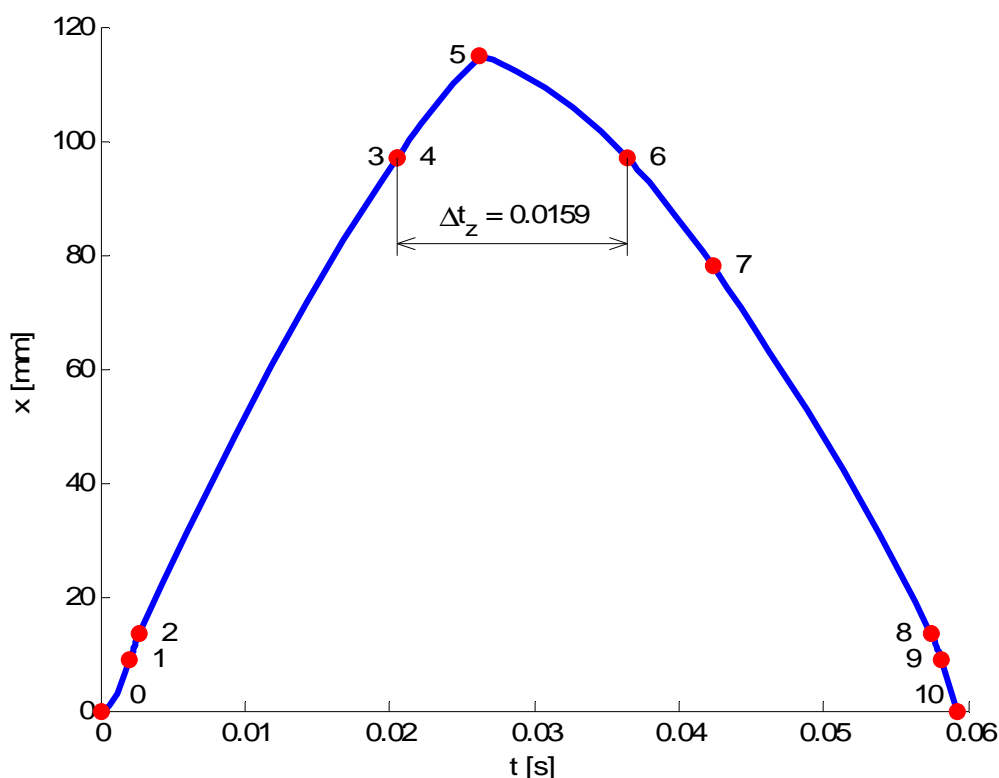
6.2 Řešení pohybových rovnic

Pohybové rovnice představují diferenciální rovnice druhého řádu. Pro jednoduchý přímočarý pohyb, ve kterém jsou síly konstantní (např. pasivní odpory) nebo představují jednoduchou funkci (např. lineární závislost síla pružiny na dráze) je možné najít řešení analyticky, např. metodou variace konstanty, viz [12].

U složitějších pohybových rovnic, jako je např. řešení pohybu pístu díky impulsu prachových plynů odebíraných z komunikačního kanálku nebo rotační pohyb závory se jedná o nelineární diferenciální rovnice druhého řádu, které nemají uzavřený analytický tvar. Takové rovnice se pak řeší numericky.

Z důvodu jednotného postupu při hledání řešení pohybových rovnic jednotlivých úseků jsme všechny dílčí pohybové rovnice pro jednotlivé úseky řešili numericky.

Nalezeným řešením všech výše uvedených pohybových rovnic je závislost dráhy nosiče závorníku na čase, které představují tzv. funkční diagram, viz obr. níže.



Obr. 18 Výsledný průběh funkčního diagramu. Rychlost nosiče závorníku v okamžiku dopadu

na pouzdro zbraně je $v_{\text{dopad}} \doteq 2,66 \text{ m/s}$, rychlost po odrazu je $v_{\text{odraz}} \doteq 0,80 \text{ m/s}$.

7 Závěr

Cílem této práce bylo shrnout základní poznatky o samonabíjecích odstřelovacích puškách, provést výpočet vnitrobalistických veličin, navrhnout a pevnostně zkontrolovat hlaveň pro náboj 308 Winchester, navrhnout ostatní části zbraně a sestavit funkční diagram zbraně. V úvodu práce jsme proto sestavili seznam nejtypičtějších a nejrozšířenějších samonabíjecích odstřelovacích pušek a nábojů do těchto zbraní včetně jejich základních takticko-technických údajů. Z používaných konstrukčních prvků se přes všechny možné speciální případy dá vyčíst někdy až téměř jednotný koncept. Zbraně mnohdy vycházejí z útočných pušek, jejichž funkcionalitu rozšiřují pro účely odstřelovačské pušky. Typickými úpravami je zesílení a prodloužení hlavně, umístění výkonných ústových zařízení, zvýšení pevnosti pouzdra závěru, montáž kvalitního optického zaměřovacího přístroje a stavitelnost pažbových prvků. Protože jsme při našem ideovém návrhu vycházeli z útočné pušky Sa-58, uvedli jsme i podrobnější údaje o této zbraní.

Na základě shrnutých a analyzovaných údajů o samonabíjecích odstřelovacích puškách jsme sestavili požadavky pro vlastní ideový návrh zbraně. Zohlednili jsme přitom možnosti Sa-58. Jak se ukázalo, všechny požadavky byly splnitelné. Na základě vnitrobalistického výpočtu bylo možné navrhnout hlaveň, která se rozměrově vejde do mírně upraveného pouzdra zbraně. Nebylo možné zachovat jednoduchou hlaveň, ale pro fetovanou hlaveň bylo možné návrh provést. Pouzdro zbraně jsme využili jako plášť fretované hlavně, do které jsme hlaveň s přesahem zalisovali. Abychom vyhověli pevnostní podmínce, prodloužili jsme pouzdro zbraně. S tlakem na mezi pružného odporu jsme se spolehlivě dostali přes konstrukční tlak, a to i bez toho, aniž bychom hodnoty koeficientů volili na jejich krajních mezích. Pokud by zůstala hlaveň jednoduchá, pevnostní výpočet by v pružné oblasti nevyšel, ale v pružně-plastické oblasti by byla ještě rezerva, takže hlaveň by vydržela i zvýšený tlak použitého náboje.

Z ostatních mechanismů zbraně jsme se zabývali pevnostní kontrolou závěrového uzlu. Kontrolu jsme provedli pro namáhání ozubu na smyk (střih) a otláčení. Podrobně jsme se věnovali návrhu zásobníku. Oproti zásobníku pro Sa-58 došlo k celé řadě úprav. Předně jsme zásobník zkrátili z 30 na 10 nábojů. Také bylo nutné zásobník rozšířit ve směru uložených nábojů, protože náboj 308 Win. je o cca 15 mm delší. To vedlo také k tomu, že pouzdro zbraně muselo být úměrně prodlouženo. Důležitým prvkem zásobníku je podávací pružina, jejíž síla určuje dobu podání náboje ze zásobníku do nábojiště zbraně. Tato doba je dána dobou kmitu závěru v zadní poloze a vychází tak z funkčního diagramu. Na základě této hodnoty jsme navrhli potřebný rozsah sil podávací pružiny a z něho jsme následně vyšli při návrhu geometrie vlastní podávací pružiny.

Jak jsme zmínili, bylo potřeba provést úpravu pouzdra zbraně, tj. zejména jeho prodloužení a úpravu částí závěru. Pouzdro jsme „rozřízli“ a prodloužili v nejméně složité části. Stejně jsme přistupovali k úpravě částí závěru. Prodloužili jsme nosič závorníku, čímž se zvýšila jeho hmotnost o cca 13 %. Prodloužili jsme také závorník. Jeho hmotnost se zvýšila o cca 35 %. Poslední úpravou bylo prodloužení zápalníku o polovinu. Úderník jsem nechali původní. Tyto úpravy mají několik výhod. Protože výkon náboje je větší oproti náboji pro Sa-58, zvýšení hmotnosti nosiče závorníku, závorníku a zápalníku nepředstavuje omezení z hlediska potřebné energie pro pohyb závěru. Dokonce je zvýšení hmotnosti vítané, protože se tím prodlužuje doba funkčního cyklu, která i tak vyšla kratší než u Sa-58. Z

hlediska funkce bicího mechanismu došlo jen k drobné změně, a to prodloužení a zvýšení hmotnosti zápalníku. Protože se úderník neměnil, pohybuje se stejně jako u Sa-58, což je vítané, protože nedošlo ke zvýšení jeho rozměrů a hmotnosti a dynamika pohybu je tak stejná, což má vliv na zachování přesnosti střelby. Zápalník se sice prodloužil, ale díky tomu lépe odolává zatížení vlivem větší pružnosti. Jeho hmotnost se také zvýšila, ale protože je velmi malá vzhledem k ostatním částem závěru, tato skutečnost nemá výrazný vliv na funkci bicího mechanismu. Přesto jsme provedli kontrolu bicího mechanismu z hlediska spolehlivé iniciace zápalky náboje.

Spoušťový mechanismus bylo třeba upravit pro střelbu jednotlivými ranami. Tato úprava byla již podrobně provedena v [11], a proto jsme ji převzali bez dalších úprav. Stejně tomu bylo s pojistným ústrojím, které jsme převzali a dále neupravovali. V příloze F je uveden výkres sestavy navržené samonabíjecí odstřelovací pušky, ze kterého jsou vidět další úpravy zbraně, zejména návrh stavitelné pažby, dvojnožky, ústíové brzdy s tlumičem zpětného rázu a úchyty (montáže) pro optický zaměřovač, který vyhovuje předpisu NATO STANAG 2324 (Picatinny rail).

Poslední část práce je věnována výpočtu funkčního diagramu zbraně. Existuje několik přístupů k jeho sestavení. Zvolili jsme přístup založený na sestavení diferenciálních pohybových rovnic pro každou část funkčního cyklu. Vycházeli jsme přitom z kinematicko-geometrického diagramu (cyklogramu) navržené zbraně. Pravděpodobně nejsložitější částí zde bylo odvození pohybových rovnic pro pohyb nosiče závorníku během odemykání závory. Pohybové rovnice jsme řešili numericky podobně jako jiné výpočty v prostředí Matlabu. Výsledný funkční diagram je tvarově shodný s funkčním diagramem Sa-58, akorát je časově kratší, to je dáno výkonnějším nábojem. Do jisté míry je možné kontrolovat délku trvání funkčního cyklu např. hmotnostmi částí závěru, tuhostmi pružin nebo průřezem komunikačního kanálku. Hmotnosti závěru se navýšili tím, že se pouzdro zbraně prodlužovalo. Tuhosti pružin se ukázaly jako plně vyhovující a nebyly měněny. Upravovali jsme pouze průměr komunikačního kanálku. Jako téměř optimální z našeho pohledu se ukázal průměr kanálku 1,8 mm. Pokud průměr kanálku zmenšíme, prodlouží se doba trvání funkčního diagramu, ale dojde také k výraznému snížení rychlosti při dopadu i odrazu nosiče závorníku v zadní poloze. Naopak při zvětšování průměru komunikačního kanálku se doba trvání funkčního diagramu prodlouží a také rychlosti dopadu a odrazu se zvýší.

Na základě analýzy provedené rešerše odstřelovacích pušek jsme na začátku práce stanovili požadavky pro ideový návrh samonabíjecí odstřelovací pušky, které jsme se snažili splnit. Jednalo se o požadavky, které jsou kladeny na klasickou samonabíjecí odstřelovací pušku. Bylo proto milým překvapením, že se podařilo tyto požadavky přirozeně splnit, aniž bychom museli zpětně slevovat z našich požadavků. Např. počáteční (ústíová) rychlost se pohybuje okolo 780 m/s a počáteční energie střely je okolo 3350 J, což jsou hodnoty, které rozumně převyšují původně stanovené požadavky. Podařilo se také bez problémů navrhnout hlaveň bez výraznějších úprav a omezení. Bylo možné využít závěru Sa-58 bez větších úprav. Také závěrový uzel pevnostně vyhovuje. Stejně je tomu u bicího mechanismu, který umožňuje spolehlivě iniciovat zápalku náboje.

Zadání práce bylo splněno v požadovaném rozsahu. Zadání práce bylo velmi motivující a určitě by se práce dala v mnoha ohledech dále rozšiřovat a zpřesňovat. Např. by bylo zajímavé přesně spočítat ústíovou brzdou s tlumičem zpětného rázu nebo optimalizovat délku hlavně s ohledem na její chvění při výstřelu.

Tištěné zdroje

- [1] BEER, S.; PLÍHAL, B.; VÍTEK, R.; JEDLIČKA, L.: *Vnitřní balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. 1. vydání. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2006. 118 s. ISBN 80-248-1022-0.
- [2] ČSN 39 5020 . *Náboje a vývrty hlavní. Rozměry, tlaky a energie*. Praha : ČNI, 1997.
- [3] EINVEBER, J.; VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 4. doplněné vydání. Úvaly : Albra - pedagogické nakladatelství, 2008. 914 s. ISBN 978-80-7316-051-7.
- [4] FENCL, J.: *Moderní odstřelovačky*. 1. vydání. Praha : Naše vojsko, 2006. 283 s. ISBN 80-206-0815-X.
- [5] FIŠER, M.: *Konstrukce loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Dotisk 1. vydání. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2009. 144 s. ISBN 978-80-248-1021-8.
- [6] FIŠER, M.; PROCHÁZKA, S.: *Projektování loveckých, sportovních a obranných zbraní*. 1. vydání. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2007. 142 s. ISBN 978-80-248-1430-8.
- [7] FIŠER, M.; PROCHÁZKA, S.; ŠKVAREK, J.: *Hlavně palných zbraní*. Brno : UO, FVT, 2006. 202 s. U-3103.
- [8] HOGG, I.: *Moderní odstřelovačské pušky*. 1. vydání. Praha : Naše vojsko, 2008. 144 s. ISBN 978-80-206-0901-4.
- [9] HOGG, I.; ADAM, R.: *Jane´s palné zbraně : Příručka pro rozpoznávání*. České 1. vydání. Havlíčkův Brod : Jan Vašut, 1999. 512 s. ISBN 80-7236-081-7.
- [10] KADAŇKA, V.: *Vnitřní balistika hlavních zbraní*. 1. vydání. Praha : Naše vojsko, 1985. 340 s.
- [11] KRUTIL, J.: *Návrh adaptace Sa-58 na loveckou samonabíjecí kulovnici : Diplomová práce*. Brno : UO, FVT, 2005. 90 s.
- [12] KUČERA, R.: *Numerické metody*. 1. vydání. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2006. 132 s. ISBN 80-248-1198-7.
- [13] MACKO, M.: *Teorie a výpočty loveckých, sportovních a obranných zbraní*. 1. vydání. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2006. 102 s. ISBN 80-248-1255-X.
- [14] MCNAB, Ch.: *Ruční palné zbraně 20. století : 270 nejvýznamnějších palných zbraní*. Dotisk 1. českého vydání. Praha : Svojtka & Co., 2008. 320 s. ISBN 978-80-7237-498-4.
- [15] MOHYLA, M.: *Strojírenské materiály I*. Dotisk 2. vydání. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2006. 146 s. ISBN 80-248-0270-8.
- [16] POPELÍNSKÝ, L.; PROCHÁZKA, S.; ROSICKÝ, J.; BALLA, J.: *Automatické zbraně : Učebnice*. Praha : FMO, 1991. 636 s. RDV-51-1.

Elektronické zdroje

- [17] 7.62x51mm. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 15. března 2010, poslední úprava 15. března 2010 [cit. 2010-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/7.62x51mm>>.
- [18] *GuneXpert : Web o samopalu vz. 58* [online]. 2010 [cit. 2010-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.sa58.cz>>.
- [19] List of sniper rifles. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 27. prosince 2008, poslední úprava 2. května 2010 [cit. 2010-05-21]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_sniper_rifles>.
- [20] POPENKER, M.: *Modern sniper rifles* [online]. 2001 [cit. 2010-05-21]. World guns. Dostupné z WWW: <<http://world.guns.ru/sniper/sn00-e.htm>>.
- [21] Sniper rifle. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 13. března 2010, poslední úprava 18. května 2010 [cit. 2010-05-21]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sniper_rifle>.
- [22] *Ozbrojené složky* [online]. 2010 [cit. 2010-05-21]. Česká zbrojovka. Dostupné z WWW: <<http://www.czub.cz/cz/catalog/86-ozbrojene-slozky/OS-SR.aspx>>.

98

Příloha B: Přehled samonabíjecích odstřelovacích pušek

Přehled samonabíjecích odstřelovacích pušek

Název zbraně	Ráže	Systém	Celková délka	Hmotnost	Hlaveň	Zásobovací zařízení	Počáteční rychlost střely	Účinný dostřel	Výrobce	Země původu
Heckler & Koch G3/SG 1	7,62 x 51 mm (308 WIN)	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je dynamický válečkový se zpožděným otevíráním.	1025 mm	5540 g	Délka 450 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 305 mm	Schránkový zásobník na 20 nábojů	cca 800 m/s	400 m	Heckler & Koch GmbH	Německo
Heckler & Koch PSG 1	7,62 x 51 mm (308 WIN)	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je dynamický válečkový se zpožděným otevíráním.	1208 mm	8100 g	Délka 650 mm, čtyřvrcholový pravotočivý polygon	Schránkový zásobník na 5 nebo 20 nábojů	cca 900 m/s	800 m	Heckler & Koch GmbH	Německo
Heckler & Koch MSG 90	7,62 x 51 mm (308 WIN)	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je dynamický válečkový se zpožděným otevíráním.	1165 mm	6400 g	Délka 600 mm, čtyřvrcholový pravotočivý polygon	Schránkový zásobník na 5 nebo 20 nábojů	cca 850 m/s	800 m	Heckler & Koch GmbH	Německo
Heckler & Koch G8	7,62 x 51 mm (308 WIN)	Automatická OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je dynamický válečkový se zpožděným otevíráním.	1030 mm	8150 g	Délka 450 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 305 mm	Schránkový zásobník na 20 nábojů, bubnový zásobník na 50 nábojů, pás na 250 nábojů	cca 835 m/s	400 m	Heckler & Koch GmbH	Německo
Heckler & Koch HK 33/SG	5,56 x 45 mm (223 Remington)	Automatická OPu využívající energii zpětného rázu. Závěr je uzamčený válečky.	920 mm	3650 g	Délka 390 mm, 6 pravotočivých drážek, stoupání 178 nebo 305 mm	Schránkový zásobník na 25 nábojů	cca 920 m/s	400 m	Heckler & Koch GmbH	Německo
VSS Vintorez	9 x 39 mm SP-5	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů z vývrtu hlavně	894 mm	2600 g	Délka 200 mm	Schránkový zásobník na 10 nebo 20 nábojů	cca 290 m/s	400 m	Institut pro výrobu přesných přístrojů	Rusko
Dragunov SVD	7,62 x 54R Mosin	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů z hlavně	1225 mm	4300 g	Délka 622 mm, 4 pravotočivé drážky	Schránkový zásobník na 10 nábojů	cca 830 m/s	800 m	Íževská zbrojovka	Rusko
Galil Sniper	7,62 x 51 mm NATO	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů	1115 mm (napřímená pažba, 840 mm (sklopená pažba)	6400 g	Délka 508 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 305 mm	Schránkový zásobník na 20 nábojů	cca 815 m/s	300 – 500 m	Íževský vojenský průmysl (IMI)	Ízrael
Steyr IWS 2000 (antimateriálová puška)	15,2 x 169 mm Steyr	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu.	1800 mm	18 kg	Délka 1200 mm, hladký vývrt	Schránkový zásobník na 5 nábojů	cca 1450 m/s	1000 m	Steyr-Mannlicher GmbH	Rakousko
SIG SSG SG 550	5,56 x 45 mm NATO	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů	1130 mm (napřímená pažba, 905 mm (sklopená pažba)	7020 g	Délka 650 mm, 6 pravotočivých drážek	Schránkový zásobník na 20 nebo 30 nábojů	cca 940 m/s	800 m	SIG	Švýcarsko
Zastava M76	7,92 mm Mauser (8 x 57 JS)	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů	1135 mm	4600 g	Délka 550 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 240 mm	Schránkový zásobník na 10 nábojů	cca 720 m/s	800 m	Červená Zastava	Srbsko

Název zbraně	Raže	Systém	Celková délka	Hmotnost	Hlaveň	Zásobovací zařízení	Počáteční rychlost střely	Účinný dostřel	Výrobce	Země původu
Gepard M2	12,7 x 108 mm	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu	1530 mm	12 kg	Délka 1100 mm	Schránkový zásobník na 5 nebo 10 nábojů	cca 840 m/s	2000 m	Technika Budapešť	Maďarsko
Gepard M3	14,5 x 114 mm KPV	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu a dlouhým základem hlavě	1880 mm	20 kg	Délka 1480 mm	Schránkový zásobník na 5 nebo 10 nábojů	cca 1000 m/s	2000 m	Technika Budapešť	Maďarsko
M21 SWS (Sniper Weapon System)	7,62 x 51 mm (308 WIN)	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů	1120 mm	5100 g	Délka 560 mm, 4 pravotočivé drážky, stoupání 305 mm	Schránkový zásobník na 20 nábojů	cca 850 m/s	690 m	Státní zbrojovka Springfield	USA
Barrett M82A1 "Light Fifty"	12,7 x 99 mm (50 BMG)	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu a krátkým základem hlavě	1550 mm	13,4 kg	Délka 838 mm, 8 pravotočivých drážek	Schránkový zásobník na 11 nábojů	cca 850 m/s	1800 m	Barrett Firearms Mfg. Co.	USA
Barrett M82A2	12,7 x 99 mm (50 BMG)	Samonabíjecí OPu využívající energii zpětného rázu a krátkým základem hlavě	1409 mm	12,24 kg	Délka 736 mm, 8 pravotočivých drážek	Schránkový zásobník na 10 nábojů	cca 850 m/s	1800 m	Barrett Firearms Mfg. Co.	USA
Stoner SR-25	7,62 x 51 mm (308 WIN)	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů	1175 mm	4880 g	Délka 506 mm	Schránkový zásobník na 10 nebo 20 nábojů	cca 880 m/s	800 m	Knight's Armament Co.	USA
Barrett M98	338 Lapua Magnum	Samonabíjecí, s odběrem prachových plynů	1175 mm	7 kg	Délka 610 mm	Schránkový zásobník na 10 nábojů	975 m/s	1200 m	Barrett Firearms Company	USA
FAMAE FD-200	7,62 x 51 mm	Samonabíjecí OPu s odběrem prachových plynů	1200 mm	5100 g	Délka 620 mm	Schránkový zásobník na 5, 10 nebo 20 nábojů	cca 800 m/s	800 m	FAMAE	Chile
QBU-88	5,8 x 42 mm	Samonabíjecí, s odběrem prachových plynů a olovným závěrem	920 mm	4,1 kg	Délka 640 mm	Schránkový zásobník na 10 nábojů	895 m/s	800 m	China North Industries Corporation	Čína

Příloha C: Přehled střeliva do samonabíjecích odstřelovacích pušek

Přehled střeliva do samonabíjecích odstřelovacích pušek

Název náboje	Země původu	Celková délka	Délka nábojnice	Průměr dna	Hmotnost střely	Ústová rychlost	Ústová energie	Maximální tlak
5,56 x 45 mm NATO (.223 Remington)	USA	57,3 mm	44,45 mm	9,50 mm	4,0 g (62 gr)	930 m/s	1708 J	430 MPa
7,62 x 67 mm (.300 Winchester Magnum)	USA	83,82 mm	66,55 mm	13,51 mm	9,72 g (150 gr)	987 m/s	4725 J	430 MPa
7,62 x 51 NATO (.308 Winchester)	USA	69,85 mm	51,05 mm	11,94 mm	9,65 g (149 gr)	854 m/s	3519 J	345 MPa
7,62 x 54R Mosin	Rusko	69,85 mm	53,60 mm	14,30 mm	11,98 g (185 gr)	804 m/s	3814 J	390 MPa
7,92 x 57 Mauser (8x57 JS)	Německo	69,85 mm	57,00 mm	12,00 mm	12,85 mm (198 gr)	737 m/s	3490 J	390 MPa
.338 Lapua Magnum (8,7 x 69 mm)	Finsko	69,85 mm	69,20 mm	14,91 mm	16,20 g (250 gr)	914 m/s	6766 J	420 MPa
9 x 39 mm VSS	SSSR	69,85 mm	38,5 mm	11,3 mm	16,2 g (250 gr)	290 m/s	681 J	cca 355 MPa
12,7 x 99 mm (.50 BMG)	USA	69,85 mm	99,10 mm	20,30 mm	42,90 g (662 gr)	887 m/s	16 876 J	378 MPa
12,7 x 108 mm	SSSR	69,85 mm	108 mm	21,75 mm	52 g (802 gr)	860 m/s	19 230 J	360 MPa
15,2 x 169 mm Steyr AMR	Rakousko	69,85 mm	169 mm	26 mm	35 g (540 gr)	1450 m/s	36 793 J	cca 360 MPa
14,5 x 114 mm	SSSR	69,85 mm	114 mm	26,95 mm	60 g (930 gr)	1000 m/s	30 000 J	360 MPa
7,62 x 39 mm	SSSR	69,85 mm	38,70 mm	11,35 mm	8 g (123 gr)	710 m/s	2010 J	355 MPa
7,5 x 55 mm Swiss (GP 11, Schmidt Rubin)	Švýcarsko	69,85 mm	55,60 mm	12,60 mm	9,7 g (150 gr)	860 m/s	3604 J	380 MPa
9,3 x 64 mm Brenneke	Německo	69,85 mm	64,00 mm	12,88 mm	19 g (293 gr)	785 m/s	5854 J	440 MPa
5,8 x 42 mm DBP87	Čína	69,85 mm	42,2 mm	cca 9,5 mm	5g (77 gr)	895 m/s	2003 J	cca 400 MPa

Příloha D: Hodnoty průběhů vnitrobalistických veličin vypočítaných numericky**Teplota +15 °C**

Čas [s]	Z [-]	Dráha [m]	Rychlost [m/s]	Tlak [MPa]	Teplota [K]
0,00E+00	2,40E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,01E+07	3,18E+03
1,00E-05	2,66E-02	7,67E-06	1,56E+00	4,44E+07	3,17E+03
2,00E-05	2,94E-02	3,18E-05	3,29E+00	4,91E+07	3,17E+03
3,00E-05	3,25E-02	7,41E-05	5,20E+00	5,44E+07	3,17E+03
4,00E-05	3,60E-02	1,36E-04	7,32E+00	6,01E+07	3,17E+03
5,00E-05	3,98E-02	2,21E-04	9,65E+00	6,64E+07	3,17E+03
6,00E-05	4,40E-02	3,30E-04	1,22E+01	7,33E+07	3,17E+03
7,00E-05	4,87E-02	4,67E-04	1,51E+01	8,08E+07	3,17E+03
8,00E-05	5,38E-02	6,33E-04	1,82E+01	8,90E+07	3,16E+03
9,00E-05	5,94E-02	8,32E-04	2,17E+01	9,78E+07	3,16E+03
1,00E-04	6,56E-02	1,07E-03	2,54E+01	1,07E+08	3,15E+03
1,10E-04	7,24E-02	1,34E-03	2,96E+01	1,18E+08	3,15E+03
1,20E-04	7,99E-02	1,66E-03	3,42E+01	1,29E+08	3,14E+03
1,30E-04	8,80E-02	2,03E-03	3,91E+01	1,41E+08	3,14E+03
1,40E-04	9,69E-02	2,44E-03	4,45E+01	1,53E+08	3,13E+03
1,50E-04	1,07E-01	2,92E-03	5,04E+01	1,66E+08	3,12E+03
1,60E-04	1,17E-01	3,45E-03	5,68E+01	1,80E+08	3,12E+03
1,70E-04	1,28E-01	4,06E-03	6,37E+01	1,94E+08	3,11E+03
1,80E-04	1,40E-01	4,73E-03	7,12E+01	2,09E+08	3,10E+03
1,90E-04	1,54E-01	5,48E-03	7,92E+01	2,24E+08	3,09E+03
2,00E-04	1,68E-01	6,32E-03	8,77E+01	2,39E+08	3,08E+03
2,10E-04	1,82E-01	7,24E-03	9,68E+01	2,54E+08	3,06E+03
2,20E-04	1,98E-01	8,26E-03	1,06E+02	2,69E+08	3,05E+03
2,30E-04	2,15E-01	9,37E-03	1,17E+02	2,83E+08	3,04E+03
2,40E-04	2,32E-01	1,06E-02	1,27E+02	2,97E+08	3,02E+03
2,50E-04	2,51E-01	1,19E-02	1,39E+02	3,10E+08	3,01E+03
2,60E-04	2,70E-01	1,34E-02	1,50E+02	3,22E+08	2,99E+03
2,70E-04	2,90E-01	1,49E-02	1,62E+02	3,33E+08	2,98E+03
2,80E-04	3,10E-01	1,66E-02	1,75E+02	3,43E+08	2,96E+03
2,90E-04	3,31E-01	1,84E-02	1,88E+02	3,51E+08	2,94E+03
3,00E-04	3,53E-01	2,04E-02	2,01E+02	3,58E+08	2,93E+03
3,10E-04	3,75E-01	2,24E-02	2,14E+02	3,63E+08	2,91E+03
3,20E-04	3,97E-01	2,47E-02	2,28E+02	3,67E+08	2,89E+03

3,30E-04	4,19E-01	2,70E-02	2,41E+02	3,70E+08	2,87E+03	
3,40E-04	4,41E-01	2,95E-02	2,55E+02	3,71E+08	2,85E+03	
3,42E-04	4,47E-01	3,01E-02	2,58E+02	3,71E+08	2,85E+03	Maximální tlak
3,50E-04	4,64E-01	3,21E-02	2,69E+02	3,70E+08	2,83E+03	
3,60E-04	4,86E-01	3,49E-02	2,82E+02	3,69E+08	2,81E+03	
3,70E-04	5,08E-01	3,77E-02	2,96E+02	3,66E+08	2,79E+03	
3,80E-04	5,30E-01	4,08E-02	3,10E+02	3,63E+08	2,77E+03	
3,90E-04	5,52E-01	4,39E-02	3,23E+02	3,58E+08	2,76E+03	
4,00E-04	5,74E-01	4,72E-02	3,36E+02	3,53E+08	2,74E+03	
4,10E-04	5,95E-01	5,07E-02	3,49E+02	3,47E+08	2,72E+03	
4,20E-04	6,16E-01	5,42E-02	3,62E+02	3,41E+08	2,70E+03	
4,30E-04	6,36E-01	5,79E-02	3,74E+02	3,34E+08	2,68E+03	
4,40E-04	6,56E-01	6,17E-02	3,86E+02	3,27E+08	2,66E+03	
4,50E-04	6,76E-01	6,56E-02	3,98E+02	3,20E+08	2,65E+03	
4,60E-04	6,95E-01	6,97E-02	4,10E+02	3,12E+08	2,63E+03	
4,70E-04	7,14E-01	7,38E-02	4,22E+02	3,05E+08	2,61E+03	
4,80E-04	7,32E-01	7,81E-02	4,33E+02	2,97E+08	2,60E+03	
4,90E-04	7,50E-01	8,25E-02	4,44E+02	2,90E+08	2,58E+03	
5,00E-04	7,67E-01	8,70E-02	4,54E+02	2,82E+08	2,57E+03	
5,10E-04	7,84E-01	9,16E-02	4,65E+02	2,75E+08	2,55E+03	
5,20E-04	8,01E-01	9,63E-02	4,75E+02	2,68E+08	2,54E+03	
5,30E-04	8,17E-01	1,01E-01	4,84E+02	2,61E+08	2,52E+03	
5,40E-04	8,32E-01	1,06E-01	4,94E+02	2,54E+08	2,51E+03	
5,50E-04	8,47E-01	1,11E-01	5,03E+02	2,47E+08	2,49E+03	
5,60E-04	8,62E-01	1,16E-01	5,12E+02	2,40E+08	2,48E+03	
5,70E-04	8,77E-01	1,21E-01	5,21E+02	2,34E+08	2,47E+03	
5,80E-04	8,91E-01	1,26E-01	5,30E+02	2,28E+08	2,45E+03	
5,90E-04	9,04E-01	1,32E-01	5,38E+02	2,22E+08	2,44E+03	
6,00E-04	9,17E-01	1,37E-01	5,46E+02	2,16E+08	2,43E+03	
6,10E-04	9,30E-01	1,43E-01	5,54E+02	2,10E+08	2,42E+03	
6,20E-04	9,43E-01	1,48E-01	5,62E+02	2,05E+08	2,40E+03	
6,30E-04	9,55E-01	1,54E-01	5,69E+02	2,00E+08	2,39E+03	
6,40E-04	9,67E-01	1,60E-01	5,76E+02	1,95E+08	2,38E+03	
6,50E-04	9,79E-01	1,65E-01	5,84E+02	1,90E+08	2,37E+03	
6,60E-04	9,90E-01	1,71E-01	5,91E+02	1,85E+08	2,36E+03	
6,69E-04	1,00E+00	1,77E-01	5,96E+02	1,81E+08	2,35E+03	Dohoření
6,70E-04	1,00E+00	1,77E-01	5,97E+02	1,80E+08	2,35E+03	
6,80E-04	1,00E+00	1,83E-01	6,04E+02	1,73E+08	2,33E+03	
6,90E-04	1,00E+00	1,89E-01	6,10E+02	1,67E+08	2,31E+03	

7,00E-04	1,00E+00	1,95E-01	6,16E+02	1,61E+08	2,30E+03
7,10E-04	1,00E+00	2,02E-01	6,22E+02	1,55E+08	2,28E+03
7,20E-04	1,00E+00	2,08E-01	6,28E+02	1,50E+08	2,26E+03
7,30E-04	1,00E+00	2,14E-01	6,33E+02	1,44E+08	2,25E+03
7,40E-04	1,00E+00	2,21E-01	6,38E+02	1,39E+08	2,23E+03
7,50E-04	1,00E+00	2,27E-01	6,44E+02	1,35E+08	2,22E+03
7,60E-04	1,00E+00	2,33E-01	6,48E+02	1,30E+08	2,20E+03
7,70E-04	1,00E+00	2,40E-01	6,53E+02	1,26E+08	2,19E+03
7,80E-04	1,00E+00	2,46E-01	6,58E+02	1,22E+08	2,17E+03
7,90E-04	1,00E+00	2,53E-01	6,62E+02	1,18E+08	2,16E+03
8,00E-04	1,00E+00	2,60E-01	6,67E+02	1,15E+08	2,15E+03
8,10E-04	1,00E+00	2,66E-01	6,71E+02	1,11E+08	2,13E+03
8,20E-04	1,00E+00	2,73E-01	6,75E+02	1,08E+08	2,12E+03
8,30E-04	1,00E+00	2,80E-01	6,79E+02	1,05E+08	2,11E+03
8,40E-04	1,00E+00	2,87E-01	6,83E+02	1,02E+08	2,10E+03
8,50E-04	1,00E+00	2,94E-01	6,86E+02	9,93E+07	2,08E+03
8,60E-04	1,00E+00	3,00E-01	6,90E+02	9,66E+07	2,07E+03
8,70E-04	1,00E+00	3,07E-01	6,94E+02	9,40E+07	2,06E+03
8,80E-04	1,00E+00	3,14E-01	6,97E+02	9,15E+07	2,05E+03
8,90E-04	1,00E+00	3,21E-01	7,00E+02	8,91E+07	2,04E+03
9,00E-04	1,00E+00	3,28E-01	7,04E+02	8,68E+07	2,03E+03
9,10E-04	1,00E+00	3,35E-01	7,07E+02	8,46E+07	2,02E+03
9,20E-04	1,00E+00	3,42E-01	7,10E+02	8,25E+07	2,01E+03
9,30E-04	1,00E+00	3,50E-01	7,13E+02	8,05E+07	2,00E+03
9,40E-04	1,00E+00	3,57E-01	7,16E+02	7,86E+07	1,99E+03
9,50E-04	1,00E+00	3,64E-01	7,19E+02	7,67E+07	1,98E+03
9,60E-04	1,00E+00	3,71E-01	7,22E+02	7,49E+07	1,97E+03
9,70E-04	1,00E+00	3,78E-01	7,24E+02	7,32E+07	1,96E+03
9,80E-04	1,00E+00	3,86E-01	7,27E+02	7,15E+07	1,95E+03
9,90E-04	1,00E+00	3,93E-01	7,30E+02	6,99E+07	1,94E+03
1,00E-03	1,00E+00	4,00E-01	7,32E+02	6,84E+07	1,93E+03
1,01E-03	1,00E+00	4,08E-01	7,35E+02	6,69E+07	1,93E+03
1,02E-03	1,00E+00	4,15E-01	7,37E+02	6,55E+07	1,92E+03
1,03E-03	1,00E+00	4,22E-01	7,40E+02	6,41E+07	1,91E+03
1,04E-03	1,00E+00	4,30E-01	7,42E+02	6,28E+07	1,90E+03
1,05E-03	1,00E+00	4,37E-01	7,44E+02	6,15E+07	1,89E+03
1,06E-03	1,00E+00	4,45E-01	7,47E+02	6,02E+07	1,89E+03
1,07E-03	1,00E+00	4,52E-01	7,49E+02	5,90E+07	1,88E+03
1,08E-03	1,00E+00	4,60E-01	7,51E+02	5,78E+07	1,87E+03
1,09E-03	1,00E+00	4,67E-01	7,53E+02	5,67E+07	1,86E+03

1,10E-03	1,00E+00	4,75E-01	7,55E+02	5,56E+07	1,86E+03	
1,11E-03	1,00E+00	4,82E-01	7,57E+02	5,46E+07	1,85E+03	
1,12E-03	1,00E+00	4,90E-01	7,59E+02	5,35E+07	1,84E+03	
1,13E-03	1,00E+00	4,97E-01	7,61E+02	5,25E+07	1,83E+03	
1,14E-03	1,00E+00	5,05E-01	7,63E+02	5,16E+07	1,83E+03	
1,15E-03	1,00E+00	5,13E-01	7,65E+02	5,06E+07	1,82E+03	
1,16E-03	1,00E+00	5,20E-01	7,67E+02	4,97E+07	1,81E+03	
1,17E-03	1,00E+00	5,28E-01	7,69E+02	4,89E+07	1,81E+03	
1,18E-03	1,00E+00	5,36E-01	7,70E+02	4,80E+07	1,80E+03	
1,19E-03	1,00E+00	5,43E-01	7,72E+02	4,72E+07	1,79E+03	
1,20E-03	1,00E+00	5,51E-01	7,74E+02	4,64E+07	1,79E+03	
1,21E-03	1,00E+00	5,59E-01	7,76E+02	4,56E+07	1,78E+03	
1,22E-03	1,00E+00	5,67E-01	7,77E+02	4,48E+07	1,78E+03	
1,23E-03	1,00E+00	5,74E-01	7,79E+02	4,41E+07	1,77E+03	
1,24E-03	1,00E+00	5,82E-01	7,81E+02	4,34E+07	1,76E+03	
1,25E-03	1,00E+00	5,90E-01	7,82E+02	4,27E+07	1,76E+03	
1,26E-03	1,00E+00	5,98E-01	7,84E+02	4,20E+07	1,75E+03	
1,27E-03	1,00E+00	6,06E-01	7,85E+02	4,13E+07	1,75E+03	
1,28E-03	1,00E+00	6,14E-01	7,87E+02	4,07E+07	1,74E+03	
1,29E-03	1,00E+00	6,21E-01	7,88E+02	4,00E+07	1,74E+03	
1,30E-03	1,00E+00	6,29E-01	7,90E+02	3,94E+07	1,73E+03	
1,31E-03	1,00E+00	6,37E-01	7,91E+02	3,88E+07	1,73E+03	
1,32E-03	1,00E+00	6,45E-01	7,93E+02	3,83E+07	1,72E+03	
1,33E-03	1,00E+00	6,53E-01	7,94E+02	3,77E+07	1,72E+03	
1,34E-03	1,00E+00	6,61E-01	7,96E+02	3,71E+07	1,71E+03	
1,35E-03	1,00E+00	6,69E-01	7,97E+02	3,66E+07	1,71E+03	
1,36E-03	1,00E+00	6,77E-01	7,98E+02	3,61E+07	1,70E+03	
1,37E-03	1,00E+00	6,85E-01	8,00E+02	3,55E+07	1,70E+03	
1,38E-03	1,00E+00	6,93E-01	8,01E+02	3,50E+07	1,69E+03	
1,39E-03	1,00E+00	7,00E-01	8,02E+02	3,46E+07	1,69E+03	Ústí hlavně

Teplota -50 °C

Čas [s]	Z [-]	Dráha [m]	Rychlost [m/s]	Tlak [MPa]	Teplota [K]
0,00E+00	2,47E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,01E+07	3,18E+03
1,00E-05	2,70E-02	7,64E-06	1,55E+00	4,39E+07	3,17E+03
2,00E-05	2,96E-02	3,15E-05	3,25E+00	4,80E+07	3,17E+03
3,00E-05	3,23E-02	7,31E-05	5,10E+00	5,24E+07	3,17E+03
4,00E-05	3,53E-02	1,34E-04	7,13E+00	5,72E+07	3,17E+03
5,00E-05	3,86E-02	2,16E-04	9,34E+00	6,24E+07	3,17E+03
6,00E-05	4,22E-02	3,21E-04	1,17E+01	6,80E+07	3,17E+03
7,00E-05	4,60E-02	4,52E-04	1,44E+01	7,41E+07	3,17E+03
8,00E-05	5,03E-02	6,10E-04	1,72E+01	8,06E+07	3,16E+03
9,00E-05	5,49E-02	7,97E-04	2,03E+01	8,76E+07	3,16E+03
1,00E-04	5,99E-02	1,02E-03	2,37E+01	9,50E+07	3,15E+03
1,10E-04	6,53E-02	1,27E-03	2,74E+01	1,03E+08	3,15E+03
1,20E-04	7,12E-02	1,57E-03	3,13E+01	1,11E+08	3,14E+03
1,30E-04	7,75E-02	1,90E-03	3,56E+01	1,20E+08	3,14E+03
1,40E-04	8,43E-02	2,28E-03	4,02E+01	1,29E+08	3,13E+03
1,50E-04	9,16E-02	2,70E-03	4,51E+01	1,39E+08	3,13E+03
1,60E-04	9,95E-02	3,18E-03	5,04E+01	1,49E+08	3,12E+03
1,70E-04	1,08E-01	3,71E-03	5,61E+01	1,59E+08	3,11E+03
1,80E-04	1,17E-01	4,31E-03	6,22E+01	1,69E+08	3,10E+03
1,90E-04	1,26E-01	4,96E-03	6,87E+01	1,80E+08	3,09E+03
2,00E-04	1,37E-01	5,68E-03	7,55E+01	1,91E+08	3,08E+03
2,10E-04	1,47E-01	6,47E-03	8,27E+01	2,01E+08	3,07E+03
2,20E-04	1,59E-01	7,34E-03	9,04E+01	2,12E+08	3,06E+03
2,30E-04	1,71E-01	8,28E-03	9,84E+01	2,22E+08	3,05E+03
2,40E-04	1,83E-01	9,31E-03	1,07E+02	2,32E+08	3,04E+03
2,50E-04	1,96E-01	1,04E-02	1,16E+02	2,41E+08	3,02E+03
2,60E-04	2,09E-01	1,16E-02	1,25E+02	2,50E+08	3,01E+03
2,70E-04	2,23E-01	1,29E-02	1,34E+02	2,58E+08	3,00E+03
2,80E-04	2,38E-01	1,43E-02	1,44E+02	2,66E+08	2,98E+03
2,90E-04	2,52E-01	1,58E-02	1,54E+02	2,72E+08	2,97E+03
3,00E-04	2,67E-01	1,74E-02	1,64E+02	2,78E+08	2,95E+03
3,10E-04	2,83E-01	1,91E-02	1,74E+02	2,83E+08	2,93E+03
3,20E-04	2,98E-01	2,09E-02	1,85E+02	2,86E+08	2,92E+03
3,30E-04	3,14E-01	2,28E-02	1,95E+02	2,89E+08	2,90E+03
3,40E-04	3,30E-01	2,48E-02	2,06E+02	2,91E+08	2,89E+03
3,50E-04	3,46E-01	2,69E-02	2,17E+02	2,93E+08	2,87E+03

3,59E-04	3,60E-01	2,88E-02	2,26E+02	2,93E+08	2,85E+03	Maximální tlak
3,60E-04	3,62E-01	2,91E-02	2,28E+02	2,93E+08	2,85E+03	
3,70E-04	3,78E-01	3,14E-02	2,38E+02	2,92E+08	2,84E+03	
3,80E-04	3,94E-01	3,39E-02	2,49E+02	2,91E+08	2,82E+03	
3,90E-04	4,10E-01	3,64E-02	2,60E+02	2,89E+08	2,80E+03	
4,00E-04	4,26E-01	3,91E-02	2,71E+02	2,87E+08	2,78E+03	
4,10E-04	4,42E-01	4,18E-02	2,81E+02	2,84E+08	2,77E+03	
4,20E-04	4,57E-01	4,47E-02	2,92E+02	2,80E+08	2,75E+03	
4,30E-04	4,72E-01	4,77E-02	3,02E+02	2,76E+08	2,74E+03	
4,40E-04	4,87E-01	5,07E-02	3,12E+02	2,72E+08	2,72E+03	
4,50E-04	5,02E-01	5,39E-02	3,22E+02	2,68E+08	2,70E+03	
4,60E-04	5,17E-01	5,72E-02	3,32E+02	2,63E+08	2,69E+03	
4,70E-04	5,31E-01	6,05E-02	3,42E+02	2,58E+08	2,67E+03	
4,80E-04	5,45E-01	6,40E-02	3,51E+02	2,53E+08	2,66E+03	
4,90E-04	5,59E-01	6,76E-02	3,60E+02	2,48E+08	2,64E+03	
5,00E-04	5,72E-01	7,12E-02	3,69E+02	2,43E+08	2,63E+03	
5,10E-04	5,86E-01	7,50E-02	3,78E+02	2,38E+08	2,61E+03	
5,20E-04	5,98E-01	7,88E-02	3,87E+02	2,32E+08	2,60E+03	
5,30E-04	6,11E-01	8,27E-02	3,96E+02	2,27E+08	2,58E+03	
5,40E-04	6,23E-01	8,67E-02	4,04E+02	2,22E+08	2,57E+03	
5,50E-04	6,36E-01	9,08E-02	4,12E+02	2,17E+08	2,56E+03	
5,60E-04	6,47E-01	9,49E-02	4,20E+02	2,12E+08	2,54E+03	
5,70E-04	6,59E-01	9,92E-02	4,28E+02	2,07E+08	2,53E+03	
5,80E-04	6,70E-01	1,03E-01	4,35E+02	2,02E+08	2,52E+03	
5,90E-04	6,81E-01	1,08E-01	4,43E+02	1,98E+08	2,51E+03	
6,00E-04	6,92E-01	1,12E-01	4,50E+02	1,93E+08	2,50E+03	
6,10E-04	7,02E-01	1,17E-01	4,57E+02	1,89E+08	2,48E+03	
6,20E-04	7,12E-01	1,21E-01	4,64E+02	1,84E+08	2,47E+03	
6,30E-04	7,23E-01	1,26E-01	4,71E+02	1,80E+08	2,46E+03	
6,40E-04	7,32E-01	1,31E-01	4,77E+02	1,76E+08	2,45E+03	
6,50E-04	7,42E-01	1,36E-01	4,84E+02	1,72E+08	2,44E+03	
6,60E-04	7,51E-01	1,41E-01	4,90E+02	1,68E+08	2,43E+03	
6,70E-04	7,60E-01	1,46E-01	4,96E+02	1,64E+08	2,42E+03	
6,80E-04	7,69E-01	1,51E-01	5,02E+02	1,60E+08	2,41E+03	
6,90E-04	7,78E-01	1,56E-01	5,08E+02	1,57E+08	2,40E+03	
7,00E-04	7,86E-01	1,61E-01	5,14E+02	1,53E+08	2,39E+03	
7,10E-04	7,95E-01	1,66E-01	5,20E+02	1,50E+08	2,38E+03	
7,20E-04	8,03E-01	1,71E-01	5,25E+02	1,47E+08	2,37E+03	
7,30E-04	8,11E-01	1,76E-01	5,30E+02	1,44E+08	2,36E+03	

7,40E-04	8,19E-01	1,82E-01	5,36E+02	1,41E+08	2,35E+03	
7,50E-04	8,26E-01	1,87E-01	5,41E+02	1,38E+08	2,34E+03	
7,60E-04	8,34E-01	1,92E-01	5,46E+02	1,35E+08	2,33E+03	
7,70E-04	8,41E-01	1,98E-01	5,51E+02	1,32E+08	2,33E+03	
7,80E-04	8,48E-01	2,03E-01	5,56E+02	1,29E+08	2,32E+03	
7,90E-04	8,55E-01	2,09E-01	5,60E+02	1,27E+08	2,31E+03	
8,00E-04	8,62E-01	2,15E-01	5,65E+02	1,24E+08	2,30E+03	
8,10E-04	8,69E-01	2,20E-01	5,70E+02	1,22E+08	2,29E+03	
8,20E-04	8,76E-01	2,26E-01	5,74E+02	1,19E+08	2,29E+03	
8,30E-04	8,82E-01	2,32E-01	5,78E+02	1,17E+08	2,28E+03	
8,40E-04	8,88E-01	2,38E-01	5,83E+02	1,15E+08	2,27E+03	
8,50E-04	8,95E-01	2,44E-01	5,87E+02	1,12E+08	2,26E+03	
8,60E-04	9,01E-01	2,49E-01	5,91E+02	1,10E+08	2,26E+03	
8,70E-04	9,07E-01	2,55E-01	5,95E+02	1,08E+08	2,25E+03	
8,80E-04	9,13E-01	2,61E-01	5,99E+02	1,06E+08	2,24E+03	
8,90E-04	9,18E-01	2,67E-01	6,03E+02	1,04E+08	2,24E+03	
9,00E-04	9,24E-01	2,73E-01	6,07E+02	1,02E+08	2,23E+03	
9,10E-04	9,30E-01	2,79E-01	6,11E+02	1,01E+08	2,22E+03	
9,20E-04	9,35E-01	2,86E-01	6,14E+02	9,87E+07	2,22E+03	
9,30E-04	9,41E-01	2,92E-01	6,18E+02	9,70E+07	2,21E+03	
9,40E-04	9,46E-01	2,98E-01	6,21E+02	9,53E+07	2,20E+03	
9,50E-04	9,51E-01	3,04E-01	6,25E+02	9,37E+07	2,20E+03	
9,60E-04	9,56E-01	3,10E-01	6,28E+02	9,21E+07	2,19E+03	
9,70E-04	9,61E-01	3,17E-01	6,32E+02	9,06E+07	2,19E+03	
9,80E-04	9,66E-01	3,23E-01	6,35E+02	8,91E+07	2,18E+03	
9,90E-04	9,71E-01	3,29E-01	6,38E+02	8,76E+07	2,18E+03	
1,00E-03	9,76E-01	3,36E-01	6,42E+02	8,62E+07	2,17E+03	
1,01E-03	9,80E-01	3,42E-01	6,45E+02	8,48E+07	2,16E+03	
1,02E-03	9,85E-01	3,49E-01	6,48E+02	8,34E+07	2,16E+03	
1,03E-03	9,90E-01	3,55E-01	6,51E+02	8,21E+07	2,15E+03	
1,04E-03	9,94E-01	3,62E-01	6,54E+02	8,08E+07	2,15E+03	
1,05E-03	9,99E-01	3,68E-01	6,57E+02	7,96E+07	2,14E+03	
1,05E-03	1,00E+00	3,71E-01	6,58E+02	7,92E+07	2,14E+03	Dohoření
1,06E-03	1,00E+00	3,75E-01	6,60E+02	7,81E+07	2,13E+03	
1,07E-03	1,00E+00	3,82E-01	6,63E+02	7,64E+07	2,13E+03	
1,08E-03	1,00E+00	3,88E-01	6,66E+02	7,49E+07	2,12E+03	
1,09E-03	1,00E+00	3,95E-01	6,68E+02	7,33E+07	2,11E+03	
1,10E-03	1,00E+00	4,02E-01	6,71E+02	7,19E+07	2,10E+03	
1,11E-03	1,00E+00	4,08E-01	6,74E+02	7,04E+07	2,09E+03	
1,12E-03	1,00E+00	4,15E-01	6,76E+02	6,90E+07	2,08E+03	

1,13E-03	1,00E+00	4,22E-01	6,79E+02	6,77E+07	2,07E+03	
1,14E-03	1,00E+00	4,29E-01	6,81E+02	6,64E+07	2,07E+03	
1,15E-03	1,00E+00	4,35E-01	6,84E+02	6,51E+07	2,06E+03	
1,16E-03	1,00E+00	4,42E-01	6,86E+02	6,39E+07	2,05E+03	
1,17E-03	1,00E+00	4,49E-01	6,88E+02	6,27E+07	2,04E+03	
1,18E-03	1,00E+00	4,56E-01	6,91E+02	6,16E+07	2,04E+03	
1,19E-03	1,00E+00	4,63E-01	6,93E+02	6,04E+07	2,03E+03	
1,20E-03	1,00E+00	4,70E-01	6,95E+02	5,94E+07	2,02E+03	
1,21E-03	1,00E+00	4,77E-01	6,97E+02	5,83E+07	2,01E+03	
1,22E-03	1,00E+00	4,84E-01	7,00E+02	5,73E+07	2,01E+03	
1,23E-03	1,00E+00	4,91E-01	7,02E+02	5,63E+07	2,00E+03	
1,24E-03	1,00E+00	4,98E-01	7,04E+02	5,53E+07	1,99E+03	
1,25E-03	1,00E+00	5,05E-01	7,06E+02	5,44E+07	1,99E+03	
1,26E-03	1,00E+00	5,12E-01	7,08E+02	5,35E+07	1,98E+03	
1,27E-03	1,00E+00	5,19E-01	7,10E+02	5,26E+07	1,97E+03	
1,28E-03	1,00E+00	5,26E-01	7,12E+02	5,17E+07	1,97E+03	
1,29E-03	1,00E+00	5,33E-01	7,14E+02	5,09E+07	1,96E+03	
1,30E-03	1,00E+00	5,40E-01	7,16E+02	5,01E+07	1,95E+03	
1,31E-03	1,00E+00	5,48E-01	7,17E+02	4,93E+07	1,95E+03	
1,32E-03	1,00E+00	5,55E-01	7,19E+02	4,85E+07	1,94E+03	
1,33E-03	1,00E+00	5,62E-01	7,21E+02	4,77E+07	1,93E+03	
1,34E-03	1,00E+00	5,69E-01	7,23E+02	4,70E+07	1,93E+03	
1,35E-03	1,00E+00	5,76E-01	7,24E+02	4,63E+07	1,92E+03	
1,36E-03	1,00E+00	5,84E-01	7,26E+02	4,56E+07	1,92E+03	
1,37E-03	1,00E+00	5,91E-01	7,28E+02	4,49E+07	1,91E+03	
1,38E-03	1,00E+00	5,98E-01	7,29E+02	4,42E+07	1,90E+03	
1,39E-03	1,00E+00	6,06E-01	7,31E+02	4,36E+07	1,90E+03	
1,40E-03	1,00E+00	6,13E-01	7,33E+02	4,29E+07	1,89E+03	
1,41E-03	1,00E+00	6,20E-01	7,34E+02	4,23E+07	1,89E+03	
1,42E-03	1,00E+00	6,28E-01	7,36E+02	4,17E+07	1,88E+03	
1,43E-03	1,00E+00	6,35E-01	7,37E+02	4,11E+07	1,88E+03	
1,44E-03	1,00E+00	6,42E-01	7,39E+02	4,05E+07	1,87E+03	
1,45E-03	1,00E+00	6,50E-01	7,40E+02	4,00E+07	1,87E+03	
1,46E-03	1,00E+00	6,57E-01	7,42E+02	3,94E+07	1,86E+03	
1,47E-03	1,00E+00	6,65E-01	7,43E+02	3,89E+07	1,86E+03	
1,48E-03	1,00E+00	6,72E-01	7,45E+02	3,83E+07	1,85E+03	
1,49E-03	1,00E+00	6,79E-01	7,46E+02	3,78E+07	1,85E+03	
1,50E-03	1,00E+00	6,87E-01	7,48E+02	3,73E+07	1,84E+03	
1,51E-03	1,00E+00	6,94E-01	7,49E+02	3,68E+07	1,84E+03	
1,52E-03	1,00E+00	7,00E-01	7,50E+02	3,65E+07	1,83E+03	Ústí hlavně

Teplota +50 °C

Čas [s]	Z [-]	Dráha [m]	Rychlost [m/s]	Tlak [MPa]	Teplota [K]	
0,00E+00	2,36E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,01E+07	3,18E+03	
1,00E-05	2,63E-02	7,69E-06	1,57E+00	4,47E+07	3,17E+03	
2,00E-05	2,94E-02	3,19E-05	3,32E+00	4,99E+07	3,17E+03	
3,00E-05	3,28E-02	7,47E-05	5,27E+00	5,57E+07	3,17E+03	
4,00E-05	3,65E-02	1,38E-04	7,44E+00	6,20E+07	3,17E+03	
5,00E-05	4,07E-02	2,24E-04	9,86E+00	6,90E+07	3,17E+03	
6,00E-05	4,54E-02	3,36E-04	1,25E+01	7,68E+07	3,17E+03	
7,00E-05	5,06E-02	4,76E-04	1,55E+01	8,53E+07	3,17E+03	
8,00E-05	5,63E-02	6,48E-04	1,89E+01	9,47E+07	3,16E+03	
9,00E-05	6,27E-02	8,55E-04	2,25E+01	1,05E+08	3,16E+03	
1,00E-04	6,98E-02	1,10E-03	2,66E+01	1,16E+08	3,15E+03	
1,10E-04	7,76E-02	1,39E-03	3,11E+01	1,28E+08	3,15E+03	
1,20E-04	8,62E-02	1,72E-03	3,61E+01	1,41E+08	3,14E+03	
1,30E-04	9,57E-02	2,11E-03	4,16E+01	1,55E+08	3,14E+03	
1,40E-04	1,06E-01	2,56E-03	4,76E+01	1,70E+08	3,13E+03	
1,50E-04	1,18E-01	3,07E-03	5,42E+01	1,86E+08	3,12E+03	
1,60E-04	1,30E-01	3,64E-03	6,14E+01	2,03E+08	3,11E+03	
1,70E-04	1,44E-01	4,30E-03	6,92E+01	2,20E+08	3,10E+03	
1,80E-04	1,58E-01	5,03E-03	7,76E+01	2,38E+08	3,09E+03	
1,90E-04	1,74E-01	5,85E-03	8,68E+01	2,57E+08	3,08E+03	
2,00E-04	1,91E-01	6,77E-03	9,66E+01	2,75E+08	3,07E+03	
2,10E-04	2,09E-01	7,78E-03	1,07E+02	2,94E+08	3,06E+03	
2,20E-04	2,29E-01	8,91E-03	1,18E+02	3,12E+08	3,04E+03	
2,30E-04	2,49E-01	1,02E-02	1,30E+02	3,30E+08	3,03E+03	
2,40E-04	2,71E-01	1,15E-02	1,43E+02	3,46E+08	3,01E+03	
2,50E-04	2,94E-01	1,30E-02	1,56E+02	3,62E+08	3,00E+03	
2,60E-04	3,17E-01	1,46E-02	1,69E+02	3,77E+08	2,98E+03	
2,70E-04	3,42E-01	1,64E-02	1,84E+02	3,89E+08	2,96E+03	
2,80E-04	3,67E-01	1,83E-02	1,98E+02	4,00E+08	2,94E+03	
2,90E-04	3,93E-01	2,04E-02	2,13E+02	4,09E+08	2,93E+03	
3,00E-04	4,20E-01	2,26E-02	2,28E+02	4,17E+08	2,91E+03	
3,10E-04	4,46E-01	2,49E-02	2,44E+02	4,22E+08	2,89E+03	
3,20E-04	4,74E-01	2,74E-02	2,60E+02	4,25E+08	2,87E+03	
3,30E-04	5,01E-01	3,01E-02	2,75E+02	4,26E+08	2,85E+03	
3,32E-04	5,07E-01	3,07E-02	2,79E+02	4,26E+08	2,84E+03	Maximální tlak

3,40E-04	5,28E-01	3,30E-02	2,91E+02	4,26E+08	2,83E+03	
3,50E-04	5,55E-01	3,59E-02	3,07E+02	4,24E+08	2,80E+03	
3,60E-04	5,82E-01	3,91E-02	3,22E+02	4,20E+08	2,78E+03	
3,70E-04	6,09E-01	4,24E-02	3,38E+02	4,15E+08	2,76E+03	
3,80E-04	6,36E-01	4,58E-02	3,53E+02	4,09E+08	2,74E+03	
3,90E-04	6,62E-01	4,95E-02	3,68E+02	4,02E+08	2,72E+03	
4,00E-04	6,87E-01	5,32E-02	3,83E+02	3,95E+08	2,70E+03	
4,10E-04	7,12E-01	5,71E-02	3,97E+02	3,87E+08	2,68E+03	
4,20E-04	7,37E-01	6,12E-02	4,12E+02	3,78E+08	2,66E+03	
4,30E-04	7,61E-01	6,53E-02	4,25E+02	3,69E+08	2,65E+03	
4,40E-04	7,84E-01	6,97E-02	4,39E+02	3,60E+08	2,63E+03	
4,50E-04	8,07E-01	7,41E-02	4,52E+02	3,50E+08	2,61E+03	
4,60E-04	8,29E-01	7,87E-02	4,65E+02	3,41E+08	2,59E+03	
4,70E-04	8,51E-01	8,34E-02	4,77E+02	3,32E+08	2,57E+03	
4,80E-04	8,72E-01	8,82E-02	4,89E+02	3,22E+08	2,56E+03	
4,90E-04	8,92E-01	9,32E-02	5,01E+02	3,13E+08	2,54E+03	
5,00E-04	9,12E-01	9,83E-02	5,13E+02	3,04E+08	2,52E+03	
5,10E-04	9,31E-01	1,03E-01	5,24E+02	2,95E+08	2,51E+03	
5,20E-04	9,50E-01	1,09E-01	5,35E+02	2,87E+08	2,49E+03	
5,30E-04	9,68E-01	1,14E-01	5,45E+02	2,79E+08	2,48E+03	
5,40E-04	9,86E-01	1,20E-01	5,55E+02	2,71E+08	2,46E+03	
5,48E-04	1,00E+00	1,24E-01	5,63E+02	2,64E+08	2,45E+03	Dohoření
5,50E-04	1,00E+00	1,25E-01	5,65E+02	2,62E+08	2,45E+03	
5,60E-04	1,00E+00	1,31E-01	5,75E+02	2,49E+08	2,42E+03	
5,70E-04	1,00E+00	1,37E-01	5,84E+02	2,37E+08	2,40E+03	
5,80E-04	1,00E+00	1,43E-01	5,92E+02	2,26E+08	2,38E+03	
5,90E-04	1,00E+00	1,49E-01	6,00E+02	2,16E+08	2,35E+03	
6,00E-04	1,00E+00	1,55E-01	6,08E+02	2,06E+08	2,33E+03	
6,10E-04	1,00E+00	1,61E-01	6,16E+02	1,97E+08	2,31E+03	
6,20E-04	1,00E+00	1,67E-01	6,23E+02	1,88E+08	2,29E+03	
6,30E-04	1,00E+00	1,73E-01	6,30E+02	1,81E+08	2,27E+03	
6,40E-04	1,00E+00	1,80E-01	6,36E+02	1,73E+08	2,25E+03	
6,50E-04	1,00E+00	1,86E-01	6,42E+02	1,66E+08	2,24E+03	
6,60E-04	1,00E+00	1,92E-01	6,49E+02	1,60E+08	2,22E+03	
6,70E-04	1,00E+00	1,99E-01	6,54E+02	1,54E+08	2,20E+03	
6,80E-04	1,00E+00	2,05E-01	6,60E+02	1,48E+08	2,18E+03	
6,90E-04	1,00E+00	2,12E-01	6,65E+02	1,43E+08	2,17E+03	
7,00E-04	1,00E+00	2,19E-01	6,71E+02	1,37E+08	2,15E+03	
7,10E-04	1,00E+00	2,25E-01	6,76E+02	1,33E+08	2,14E+03	
7,20E-04	1,00E+00	2,32E-01	6,80E+02	1,28E+08	2,12E+03	

7,30E-04	1,00E+00	2,39E-01	6,85E+02	1,24E+08	2,11E+03
7,40E-04	1,00E+00	2,46E-01	6,90E+02	1,20E+08	2,09E+03
7,50E-04	1,00E+00	2,53E-01	6,94E+02	1,16E+08	2,08E+03
7,60E-04	1,00E+00	2,60E-01	6,98E+02	1,12E+08	2,07E+03
7,70E-04	1,00E+00	2,67E-01	7,02E+02	1,09E+08	2,05E+03
7,80E-04	1,00E+00	2,74E-01	7,06E+02	1,05E+08	2,04E+03
7,90E-04	1,00E+00	2,81E-01	7,10E+02	1,02E+08	2,03E+03
8,00E-04	1,00E+00	2,88E-01	7,14E+02	9,92E+07	2,01E+03
8,10E-04	1,00E+00	2,95E-01	7,17E+02	9,63E+07	2,00E+03
8,20E-04	1,00E+00	3,02E-01	7,21E+02	9,36E+07	1,99E+03
8,30E-04	1,00E+00	3,10E-01	7,24E+02	9,10E+07	1,98E+03
8,40E-04	1,00E+00	3,17E-01	7,28E+02	8,85E+07	1,97E+03
8,50E-04	1,00E+00	3,24E-01	7,31E+02	8,61E+07	1,96E+03
8,60E-04	1,00E+00	3,32E-01	7,34E+02	8,39E+07	1,95E+03
8,70E-04	1,00E+00	3,39E-01	7,37E+02	8,17E+07	1,94E+03
8,80E-04	1,00E+00	3,46E-01	7,40E+02	7,96E+07	1,93E+03
8,90E-04	1,00E+00	3,54E-01	7,43E+02	7,76E+07	1,92E+03
9,00E-04	1,00E+00	3,61E-01	7,46E+02	7,57E+07	1,91E+03
9,10E-04	1,00E+00	3,69E-01	7,49E+02	7,38E+07	1,90E+03
9,20E-04	1,00E+00	3,76E-01	7,51E+02	7,20E+07	1,89E+03
9,30E-04	1,00E+00	3,84E-01	7,54E+02	7,03E+07	1,88E+03
9,40E-04	1,00E+00	3,91E-01	7,57E+02	6,87E+07	1,87E+03
9,50E-04	1,00E+00	3,99E-01	7,59E+02	6,71E+07	1,86E+03
9,60E-04	1,00E+00	4,06E-01	7,62E+02	6,56E+07	1,85E+03
9,70E-04	1,00E+00	4,14E-01	7,64E+02	6,42E+07	1,85E+03
9,80E-04	1,00E+00	4,22E-01	7,66E+02	6,28E+07	1,84E+03
9,90E-04	1,00E+00	4,29E-01	7,69E+02	6,14E+07	1,83E+03
1,00E-03	1,00E+00	4,37E-01	7,71E+02	6,01E+07	1,82E+03
1,01E-03	1,00E+00	4,45E-01	7,73E+02	5,88E+07	1,81E+03
1,02E-03	1,00E+00	4,53E-01	7,75E+02	5,76E+07	1,81E+03
1,03E-03	1,00E+00	4,60E-01	7,77E+02	5,64E+07	1,80E+03
1,04E-03	1,00E+00	4,68E-01	7,80E+02	5,53E+07	1,79E+03
1,05E-03	1,00E+00	4,76E-01	7,82E+02	5,42E+07	1,78E+03
1,06E-03	1,00E+00	4,84E-01	7,84E+02	5,31E+07	1,78E+03
1,07E-03	1,00E+00	4,92E-01	7,86E+02	5,21E+07	1,77E+03
1,08E-03	1,00E+00	4,99E-01	7,87E+02	5,11E+07	1,76E+03
1,09E-03	1,00E+00	5,07E-01	7,89E+02	5,01E+07	1,76E+03
1,10E-03	1,00E+00	5,15E-01	7,91E+02	4,92E+07	1,75E+03
1,11E-03	1,00E+00	5,23E-01	7,93E+02	4,83E+07	1,74E+03
1,12E-03	1,00E+00	5,31E-01	7,95E+02	4,74E+07	1,74E+03

1,13E-03	1,00E+00	5,39E-01	7,97E+02	4,66E+07	1,73E+03	
1,14E-03	1,00E+00	5,47E-01	7,98E+02	4,58E+07	1,72E+03	
1,15E-03	1,00E+00	5,55E-01	8,00E+02	4,50E+07	1,72E+03	
1,16E-03	1,00E+00	5,63E-01	8,02E+02	4,42E+07	1,71E+03	
1,17E-03	1,00E+00	5,71E-01	8,03E+02	4,34E+07	1,71E+03	
1,18E-03	1,00E+00	5,79E-01	8,05E+02	4,27E+07	1,70E+03	
1,19E-03	1,00E+00	5,87E-01	8,06E+02	4,20E+07	1,69E+03	
1,20E-03	1,00E+00	5,95E-01	8,08E+02	4,13E+07	1,69E+03	
1,21E-03	1,00E+00	6,03E-01	8,09E+02	4,06E+07	1,68E+03	
1,22E-03	1,00E+00	6,11E-01	8,11E+02	3,99E+07	1,68E+03	
1,23E-03	1,00E+00	6,19E-01	8,12E+02	3,93E+07	1,67E+03	
1,24E-03	1,00E+00	6,28E-01	8,14E+02	3,87E+07	1,67E+03	
1,25E-03	1,00E+00	6,36E-01	8,15E+02	3,81E+07	1,66E+03	
1,26E-03	1,00E+00	6,44E-01	8,17E+02	3,75E+07	1,66E+03	
1,27E-03	1,00E+00	6,52E-01	8,18E+02	3,69E+07	1,65E+03	
1,28E-03	1,00E+00	6,60E-01	8,19E+02	3,64E+07	1,65E+03	
1,29E-03	1,00E+00	6,68E-01	8,21E+02	3,58E+07	1,64E+03	
1,30E-03	1,00E+00	6,77E-01	8,22E+02	3,53E+07	1,64E+03	
1,31E-03	1,00E+00	6,85E-01	8,23E+02	3,48E+07	1,63E+03	
1,32E-03	1,00E+00	6,93E-01	8,25E+02	3,43E+07	1,63E+03	
1,33E-03	1,00E+00	7,00E-01	8,26E+02	3,39E+07	1,62E+03	Ústí hlavně